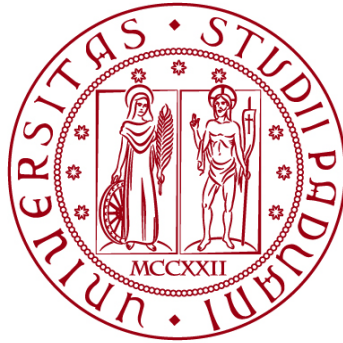


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA

Corso di Laurea in Biologia



ELABORATO DI LAUREA

**Distribuzione spazio-temporale di *Callinectes sapidus*,
Rathburn 1896 nelle lagune del Delta del Po**

Tutor: Prof.ssa Carlotta Mazzoldi
Dipartimento di Biologia

Co-tutor: Dott.ssa Arianna Fabbri
Dipartimento di Biologia

Laureanda: Chiara Tavernini

ANNO ACCADEMICO 2025/2026

INDICE

1.1 Specie aliene e invasive	5
1.1.1 Specie aliene.....	5
1.1.2 Specie aliene invasive	6
1.1.3 Specie aliene invasive: gestione e relative difficoltà	7
1.2. L'Alto Adriatico e i suoi sistemi lagunari	7
1.2.1 Delta del Po: caratteristiche e problematiche attuali.....	8
1.3 Caso studio: <i>Callinectes sapidus</i> nel Delta del Po	9
1.3.1 Biologia della specie	9
1.3.2 L'espansione di <i>C. sapidus</i> : da habitat nativo a habitat alloctono invaso	14
1.3.3 Granchio blu nel Delta del Po: strategie di gestione	15
2. OBIETTIVI	16
3. MATERIALI E METODI	17
3.1 Area di studio: lagune del Delta del Po	17
3.2 Campionamenti e misurazioni	18
3.3 Analisi dati	23
4. RISULTATI	26
4.1 Fattori abiotici	26
4.2 Parametri biometrici.....	28
4.3 Analisi di correlazione.....	33
4.4 Analisi demografica	35
4.5 CPUE degli strumenti da pesca.....	38
4.6 Confronto della struttura demografica tra i periodi di campionamento	38
5. DISCUSSIONE.....	44
6. CONCLUSIONI.....	49
7. BIBLIOGRAFIA	51
8. SITOGRAFIA	57

ABSTRACT

Per effetto dei processi di globalizzazione e di intensificazione delle reti di trasporto intercontinentali, la diffusione delle specie aliene, che si insediano e vivono in ambienti al di fuori della loro area di origine, è in forte aumento. Tra queste si distinguono, per il loro elevato impatto ecologico, le specie aliene invasive. Esse, infatti, rappresentano un elemento di forte criticità per l'ambiente in cui si insediano, causando danni all'ecosistema, con conseguenze che impattano anche le attività economiche locali.

Un caso rappresentativo di questa dinamica è quello del granchio blu (*Callinectes sapidus*) nel Delta del Po: arrivato nel Mediterraneo con le navi transoceaniche provenienti dal litorale atlantico del continente americano, ha trovato nelle lagune dell'Alto Adriatico un luogo favorevole al suo insediamento e successiva invasione. Qui la sua presenza rappresenta una minaccia per i delicati ecosistemi lagunari, in quanto ne altera gli equilibri causando danni sia ambientali sia economici, in particolare alla piccola pesca locale basata sull'allevamento di molluschi bivalvi, principale preda del granchio.

Per mitigare i danni causati dall'invasione di *C. sapidus* sull'ambiente e sull'economia nelle lagune del Delta del Po, risulta necessario studiare la popolazione, per esaminare in dettaglio l'impatto ecologico e le dinamiche di distribuzione di questa specie nell'area di interesse.

Questo studio analizza la distribuzione spazio-temporale di *C. sapidus* in sei lagune del Delta del Po (Caleri, Marinetta, Vallona, Barbamarco, Canarin, Scardovari), utilizzando dati ottenuti da campionamenti svolti nelle diverse lagune nei periodi di febbraio – marzo e maggio – giugno 2026. La raccolta comprende dati morfometrici, sesso e maturità degli individui, affiancati da parametri ambientali nei diversi siti di monitoraggio.

In questo modo, il presente lavoro si propone di ampliare le conoscenze riguardo alla presenza e alla distribuzione di *C. sapidus* nell'area del Delta del Po, al fine di individuare le strategie di intervento più efficaci per il contenimento della specie invasiva nelle aree analizzate.

1. INTRODUZIONE

1.1 Specie aliene e invasive

1.1.1 Specie aliene

Tipicamente, in natura, più due luoghi sono distanti tra di loro, più è probabile che siano abitati da insiemi di specie diversi, perché la distanza geografica che li separa rende difficile agli organismi spostarsi da un luogo all'altro (Capinha et al., 2015). Negli ultimi secoli, però, le reti di trasporto e scambio commerciale create dall'uomo, hanno messo in collegamento regioni molto lontane, rendendo più facile superare la barriera della distanza. Di conseguenza, è aumentato il numero delle specie che, tramite queste reti, riescono a diffondersi in luoghi geograficamente lontani dalla propria area d'origine. Tali specie vengono definite, nei luoghi in cui arrivano, "alloctone" o "aliene": specie arrivate in una determinata regione tramite l'intervento umano che, intenzionalmente o accidentalmente, ne ha favorito lo spostamento permettendo il superamento di barriere geografiche altrimenti insormontabili (Blackburn et al., 2014; Richardson et al., 2010).

Tale fenomeno è in corso da centinaia di anni: molte specie aliene come mammiferi, piante o uccelli sono state rilasciate da esploratori e coloni europei in tutto il mondo tra il 1500 e il 1800 (Seebens et al., 2017). Tuttavia, a causa dei trasporti sempre più frequenti e sempre più distribuiti su scala globale, il ritmo con cui gli umani traslocano specie oltre i loro areali nativi è significativamente aumentato negli ultimi decenni (Capinha et al., 2015; Seebens et al., 2017). In Europa, ad esempio, nel periodo dal 1970 al 2007, si è registrato un aumento nel numero delle specie aliene pari al 76% (Butchart et al., 2010).

Le modalità tramite cui queste specie possono entrare in nuove regioni sono molteplici (Hulme et al., 2008). Numerose piante e animali non nativi, ad esempio, sono stati introdotti intenzionalmente per scopi ornamentali o attività di svago, come gli animali da selvaggina (Pyšek et al., 2010). In ambito marino sono invece frequenti le introduzioni accidentali: molte specie, sia animali che vegetali, formano incrostazioni sugli scafi delle imbarcazioni o finiscono nelle acque di zavorra delle navi. In questo modo, tramite le rotte del traffico marittimo, arrivano in posti molto lontani dal loro areale d'origine (Bir et al., 2022).

L'introduzione di una specie aliena non sempre culmina in un'invasione biologica. Dopo l'introduzione, infatti, ciascun organismo deve superare una serie di barriere imposte dalle condizioni nel nuovo ambiente. A seconda del grado con cui riesce a

superare queste barriere, la specie viene classificata come occasionale, naturalizzata o invasiva (Richardson et al., 2010).

Spesso le specie aliene non riescono a formare popolazioni autosufficienti, e pertanto la loro persistenza nella nuova regione è occasionale e temporanea, a meno che non ci siano continue e ripetute introduzioni. Solo una piccola percentuale delle specie aliene è in grado di formare popolazioni stabili, che si riproducono e danno luogo a nuove generazioni. È questo il caso delle specie naturalizzate. Quando la loro presenza causa alterazioni ecologiche significative, minaccia la biodiversità locale e determina impatti socio-economici o sanitari negativi, vengono definite specie aliene invasive (IAS) (Bir et al., 2022; Meyerson & Mooney, 2007).

1.1.2 Specie aliene invasive

Le specie aliene invasive (IAS) sono in grado di alterare profondamente la struttura e il funzionamento delle comunità autoctone, causando la riduzione della biodiversità nativa, la compromissione dei servizi ecosistemici, la perdita di valori socioeconomici e potenziali conseguenze sulla salute umana (Early et al., 2016; Meyerson & Mooney, 2007).

Queste specie hanno già causato impatti negativi su sistemi ecologici e socioeconomici in tutto il mondo (Mormul et al., 2022). Per questo motivo, sono considerate tra i principali fattori alla base dei cambiamenti globali della biodiversità (Seebens et al., 2021) e sono formalmente riconosciute, all'interno della Convenzione sulla Diversità Biologica (CBD), come una problematica trasversale (Katsanevakis et al., 2023). A tal proposito, lo studio di Bir et al. (2022) analizza nel dettaglio i diversi ambiti d'impatto delle IAS, classificandoli in tre macrocategorie. La prima riguarda l'impatto ecosistemico, che colpisce direttamente biodiversità e ambiente. La seconda interessa l'ambito economico: ad esempio si stima che ogni anno negli Stati Uniti, il costo totale delle IAS superi i 100 miliardi di dollari. Infine, la terza macrocategoria include l'impatto delle IAS sulla salute umana, poiché questi organismi possono agire da vettori di gravi malattie.

Come visto precedentemente, le modalità con cui le specie aliene possono arrivare in nuovi territori sono molteplici e fortemente favorite e intensificate dai processi di globalizzazione. A questo scenario si aggiunge quello dei cambiamenti climatici, che promuovono la stabilizzazione delle IAS (Early et al., 2016). Si prevede, ad

esempio, che gli aumenti della concentrazione di CO₂ stimolino la crescita di molte specie vegetali e che quelle invasive rispondano con tassi di crescita maggiori rispetto a quelle autoctone, come avviene nel caso della *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud., 1841, pianta erbacea invasiva nel Nord America che, in condizioni di elevata concentrazione di CO₂, prevale sulle piante autoctone, compresa la *Phragmites* nativa (Meyerson & Mooney, 2007).

1.1.3 Specie aliene invasive: gestione e relative difficoltà

Le ricerche sulle invasioni biologiche mostrano come le loro conseguenze siano estremamente complesse da valutare e molto maggiori di quanto ci si aspetterebbe (Simberloff et al., 2013). Risulta quindi necessario approfondire gli studi a riguardo, in modo da raggiungere un maggiore livello di comprensione e poter pianificare interventi efficaci. Riguardo alle modalità di intervento, nella Convenzione sulla Diversità Biologica (2002) viene esplicitato come la prevenzione dovrebbe costituire la prima strategia. Nel caso in cui questa fallisca, l'individuazione della specie dovrebbe essere precoce, in modo da permettere un intervento immediato di eradicazione. La gestione a lungo termine dovrebbe quindi rappresentare l'ultima modalità di intervento (Simberloff et al., 2013).

Tuttavia, in molti Paesi, mancano ancora linee guida che definiscano, a livello operativo, le strategie di prevenzione e individuazione precoce delle IAS. Di conseguenza, gran parte delle politiche nazionali di gestione delle IAS viene elaborata quando tali specie si sono insediate già da tempo, ed è pertanto focalizzata alla loro gestione sul lungo periodo (Early et al., 2016; García-Díaz et al., 2021). L'applicabilità delle misure a lungo termine dipende da numerosi fattori, quali la fattibilità a livello tecnico, gli effetti collaterali sulle comunità autoctone, l'accettabilità sociale e i costi di attuazione (Katsanevakis et al., 2023). Le decisioni relative alla gestione di IAS sul lungo periodo devono pertanto essere valutate caso per caso, tenendo conto di tutti questi aspetti.

1.2. L'Alto Adriatico e i suoi sistemi lagunari

L'Alto Adriatico costituisce la regione più a nord del Mar Mediterraneo, delimitata a ovest dalla penisola italiana e a est da quella balcanica. Il litorale italiano di quest'area è caratterizzato dalla presenza di numerosi fiumi che sfociano nel mare dando luogo a estese zone umide costiere (Sfriso et al., 2019). Da nord a sud, le

principali lagune costiere sono la Laguna di Grado-Marano, con una superficie di 160 km², la Laguna di Venezia, estesa per circa 480 km², e il sistema lagunare del Delta del Po, con un'area di circa 400 km² (Ferrarin et al., 2017; Sfriso et al., 2019) (Figura 1).

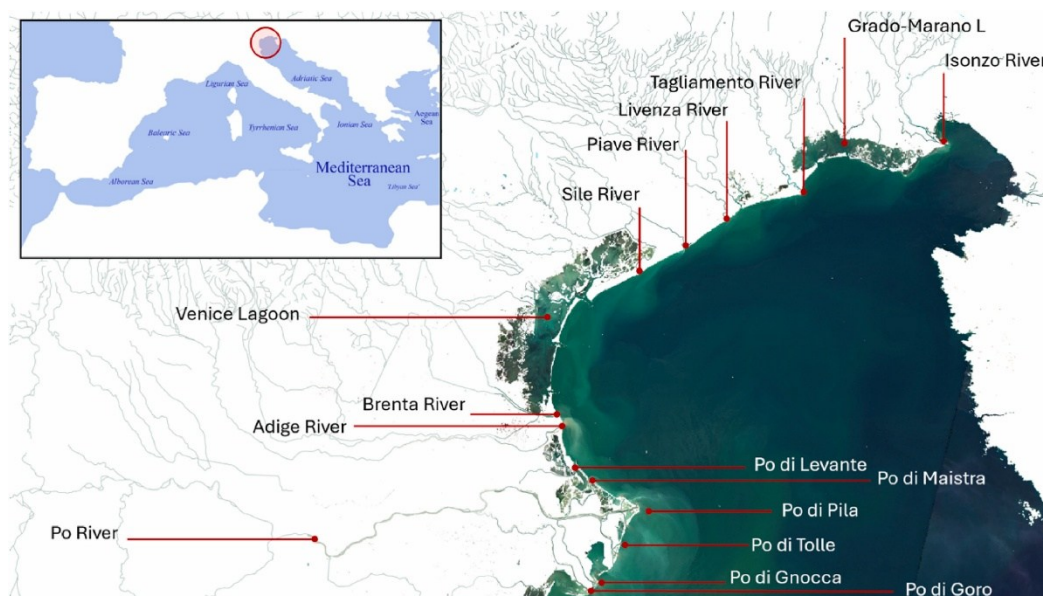


Figura 1. L'Alto Adriatico e i fiumi che vi sfociano sul litorale italiano. Si possono osservare le principali lagune che caratterizzano questa costa: la laguna di Marano-Grado, la laguna di Venezia e il Delta del Po. Fonte: De Pascalis et al., 2025

1.2.1 Delta del Po: caratteristiche e problematiche attuali

Il Delta del Po è la zona alla foce del fiume Po, nel nord-est dell'Italia, dove il fiume si divide in diversi rami prima di sfociare nel mare Adriatico. Si estende verso il mare per circa 25 km ed ha una superficie di circa 400 km² (Simeoni & Corbau, 2009). Le foci fluviali si districano tra stagni, paludi, dune e spiagge: questa ricca diversità di ambienti lo rende una delle zone umide più importanti d'Europa, con un esteso sistema di lagune che interessa le regioni di Veneto ed Emilia – Romagna (Miotto, 2021). L'attuale conformazione è il risultato sia dell'opera millenaria del fiume Po che, tramite la continua deposizione di detriti, ha progressivamente modificato la linea della costa, sia dei frequenti interventi antropici, come ad esempio il dragaggio di canali e la ricostruzione di argini. Entrambi questi aspetti sono tutt'ora presenti e determinanti nelle dinamiche ecologiche di quest'area (Frascaroli et al., 2021; Munari et al., 2010). Il Delta del Po è pertanto un sistema estremamente dinamico, che rappresenta un ambiente di transizione sia nello spazio, tra mare e terraferma, sia nel tempo, con lagune in perenne trasformazione (Corbau et al., 2019; Frascaroli et al., 2021). Proprio per questa grande variabilità

e complessità ecologica, il delta rappresenta una delle aree naturali più importanti a livello europeo, con oltre 460 specie di vertebrati e più di 1.000 specie vegetali (Frascaroli et al., 2021).

Il delta è inoltre un'area di notevole rilevanza anche dal punto di vista economico. Le lagune del delta sono infatti ecosistemi estremamente produttivi, che vantano una lunga tradizione in diverse pratiche di pesca e acquacoltura (Tiralongo et al., 2025). Nello specifico, la molluschicoltura è un'attività tradizionale di quest'area, e riveste pertanto un ruolo cruciale nelle dinamiche sociali ed economiche del Delta del Po (Frascaroli et al., 2021; Munari et al., 2010). La Sacca di Goro, ad esempio, rappresenta il secondo produttore europeo di vongole (*Ruditapes philippinarum* A. Adams & Reeve, 1850) (Turolla, 2008).

Tuttavia, i cambiamenti climatici e l'innalzamento del livello del mare registrati negli ultimi decenni rappresentano per quest'area, così come per numerosi altri delicati ecosistemi, una vera e propria problematica (Frascaroli et al., 2021). A tali pressioni si aggiunge il fenomeno delle invasioni biologiche, considerato una delle principali minacce per gli ecosistemi marini e di transizione (Basurto et al., 2025). Nel caso del Delta del Po, l'insediamento di specie aliene invasive è stato favorito da molteplici fattori, tra cui la proliferazione degli impianti di molluschicoltura e il forte impatto delle attività antropiche in generale, che hanno agito da vettori di trasporto delle IAS (Tiralongo et al., 2025). Tra queste, la massiva proliferazione del granchio blu atlantico, *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896, ha determinato, negli ultimi anni, profondi impatti ecologici ed economici, compromettendo la molluschicoltura locale e alterando i delicati equilibri degli ecosistemi lagunari del Delta (Tiralongo et al., 2025).

1.3 Caso studio: *Callinectes sapidus* nel Delta del Po

1.3.1 Biologia della specie

Il granchio blu atlantico (Figure 2,3), *C. sapidus*, è un crostaceo decapode appartenente alla famiglia dei Portunidi (Mancinelli et al., 2024). È originario delle coste atlantiche del Nord, Centro e Sud America (Baldwin & Johnsen, 2012). Il suo habitat ideale comprende i fondali di acque dolci, estuarine e oceaniche poco profonde. In tali luoghi si può trovare dalla battigia fino a fondali di circa 90 m, anche se predilige le acque più basse, entro i 35 m di profondità (IUCN; Williams, 1974).

Si contraddistingue per una colorazione del carapace e della superficie esterna dei chelipedi tipicamente grigiastra, bluastra o verde-brunastra, in tonalità e sfumature variabili (Williams, 1974). Il carapace è caratterizzato da un margine laterale provvisto di nove spine, che possono presentare sfumature rossastre. L'ultima spina, quella più in basso, è decisamente più allungata delle altre e si protende marcatamente verso l'esterno. Le zampe mostrano una colorazione variabile dal blu al bianco, con tracce di rosso (Williams, 1974; Della Ceca et al., 2026). Per quanto riguarda la superficie interna delle chele, negli individui immaturi di entrambi i sessi la colorazione varia dal blu pallido o violetto all'arancione. Negli adulti presenta invece una colorazione sessualmente dimorfica: i maschi hanno chele bianche e blu, le femmine arancioni o rosse (Figura 4) (Baldwin & Johnsen, 2012). Il dimorfismo sessuale è evidente anche nella forma dell'addome (*apron*) (Della Ceca et al., 2026). Nei maschi, in qualsiasi stadio vitale, è lungo e sottile, a forma di "T" rovesciata. Le femmine invece, a seconda dello stadio di maturità, presentano due diverse forme: nelle giovani l'*apron* è triangolare, mentre in quelle adulte assume una forma più ampia e tondeggiante, a semicerchio. La trasformazione dell'*apron* avviene in corrispondenza della muta puberale, che segna il raggiungimento della maturità (Jivoff, 2007; Williams, 1974).



Figura 2. Granchio blu, vista dorsale. Si può osservare la tipica colorazione bluastra e verde brunastra, con sfumature rosse ai margini, caratterizzati anche dalla presenza di spine.



Figura 3. Granchio blu, vista ventrale. È evidente la colorazione blu di zampe e chele, da cui il nome comune di questa specie.



Figura 4. Chele di individuo adulto femmina (a sinistra) e maschio (a destra). La colorazione è sessualmente dimorfica.

Come altre specie appartenenti al genere *Callinectes*, il granchio blu è comunemente chiamato anche “granchio nuotatore” (Hay, 1905). Tale denominazione è dovuta alla sua capacità di muoversi in acqua con elevata efficienza, grazie ai diversi adattamenti dell’esoscheletro. Tra questi, un ruolo importante è svolto dalla forma idrodinamica del corpo, che favorisce gli spostamenti in ambiente acquatico (Honsa, 2001). Un altro adattamento è rappresentato dalla particolare conformazione del quinto paio di pereiopodi: l’ultimo paio di zampe assume infatti una forma appiattita e allargata, che funge da remo, favorendo il nuoto dell’animale mentre viene trasportato dalla corrente (Honsa, 2001; Cochran, 1935; Hay, 1905) (Figura 5). Oltre alla spiccata abilità nel muoversi in ambiente acquatico, un’ulteriore caratteristica vantaggiosa della specie è la capacità di tollerare condizioni ambientali estreme. È stata infatti rinvenuta in ambienti che vanno dalle acque dolci alle lagune ipersaline, e pertanto è classificata come specie eurialina ed euriterma (Gil-Fernández et al., 2024; Williams, 1974). Tali caratteri favoriscono l’adattamento della specie a condizioni ambientali diverse, e pertanto ne favoriscono l’espansione in distinte aree geografiche (Gil-Fernández et al., 2024). Nel Mar Mediterraneo, ad esempio, la specie è stata osservata in un range di temperature da 7°C a 32°C; in questo range la temperatura minima, sotto la quale il granchio entra in una condizione di stress, è risultata pari a 12°C, quella massima a 32°C, mentre la temperatura ottimale è risultata pari a

24°C (Marchessaux et al., 2022). Per quanto riguarda la salinità invece, è stato mostrato che la soglia critica minima si attesta sui 0 PSU, quella massima a 62.4 PSU mentre l'optimum è pari a 18.5 PSU (Marchessaux et al., 2024).



Figura 5. L'ultimo paio di zampe del granchio blu presentano una forma a paletta e risultano particolarmente vantaggiose per il nuoto.

Per quanto riguarda la dieta, i granchi blu sono predatori caratterizzati da un comportamento particolarmente aggressivo (Marchessaux et al., 2023). Tuttavia, si comportano anche come necrofagi opportunisti e detritivori onnivori. Nel Mediterraneo, la loro dieta comprende infatti sia policheti, molluschi, crostacei e pesci, sia vegetali e detriti. In questo ampio spettro alimentare si trovano anche organismi di interesse per la pesca e l'acquacoltura commerciale, in particolare i molluschi bivalvi, preda preferenziale della specie (Della Ceca et al., 2026; Gavioli et al., 2025). Riguardo invece ai predatori del granchio blu, tra questi figurano diverse specie di pesci, oltre ai granchi blu stessi, che possono mostrare comportamenti cannibalistici. Gli individui sono maggiormente esposti alla predazione durante la muta e nel periodo immediatamente successivo, quando l'esoscheletro si trova ancora allo stadio di guscio molle. Anche la disponibilità di una copertura adeguata, come quella fornita dalle praterie di alghe, che offrono un naturale rifugio, può influire notevolmente sul tasso di predazione della specie (Mancinelli et al., 2024).

C. sapidus presenta un ciclo vitale complesso, che comprende diversi stadi larvali (zoe), post-larvali (megalope), giovanili e adulti. In ciascuna di queste fasi occupa habitat differenti, contraddistinti da diverse condizioni di temperatura, ossigeno disciolto e salinità (Della Ceca et al., 2026; Gil-Fernández et al., 2024). Numerosi

tratti del ciclo vitale hanno probabilmente contribuito al successo dell'invasione di *C. sapidus*. Tra questi, un ruolo fondamentale è attribuito all'elevata fecondità: le femmine possono produrre fino a 8 milioni di uova per ciascun evento riproduttivo. Queste vengono poi deposte nel corso dell'anno in diversi momenti e diversi luoghi, a seconda delle condizioni ambientali. A questo fattore si aggiunge inoltre l'elevata capacità di dispersione degli stadi larvali, che favorisce la diffusione della specie (Mancinelli et al., 2024).

La riproduzione del granchio blu è una fase complessa del suo ciclo vitale. L'accoppiamento avviene in acque a bassa salinità, ad esempio in laguna; in seguito, i maschi rimangono in queste aree, mentre le femmine migrano verso il mare, in zone ad alta salinità, per permettere la maturazione delle uova e quindi il loro rilascio (Marchessaux et al., 2023). L'accoppiamento avviene in corrispondenza della muta puberale della femmina, che segna il raggiungimento della maturità sessuale e, diversamente da quanto avviene nei maschi, costituisce l'ultima muta dell'arco di vita femminile (Millikin, 1984). Pertanto, tale muta rappresenta l'unico momento in cui le femmine possono accoppiarsi durante il loro ciclo vitale, mentre i maschi di granchio blu possono farlo più volte nel corso della loro vita (Millikin, 1984). In entrambi i sessi, comunque, il raggiungimento della maturità sessuale è correlato alle dimensioni corporee dell'animale. Pertanto, i fattori ambientali che influenzano la crescita del granchio, influiscono anche sulle dinamiche dell'accoppiamento e, in generale, della riproduzione (Jivoff et al., 2007). Tra i principali fattori abiotici coinvolti, rientrano la temperatura e la salinità, piuttosto che la quantità e qualità del cibo (Jivoff et al., 2007). Anche la struttura delle popolazioni locali, come il numero di maschi e femmine pronti ad accoppiarsi (rapporto sessuale operativo) e la loro distribuzione spazio-temporale, influenza la probabilità di accoppiamento degli individui (Jivoff et al., 2007).

L'elevata fecondità, il comportamento aggressivo, la spiccata abilità natatoria, la plasticità alimentare e l'ampia tolleranza alle variazioni di salinità e temperatura, insieme ad altre caratteristiche ecologiche e fisiologiche, contribuiscono al successo di *C. sapidus* nell'invasione, nell'espansione e nel mantenimento delle popolazioni in ambienti estuarini e costieri. Tali caratteristiche hanno favorito, nell'ultimo decennio, la diffusione della specie oltre il suo areale nativo. Nelle nuove aree colonizzate, la presenza del granchio blu è spesso stata classificata come fortemente impattante ((Della Ceca et al., 2026; Gil-Fernández et al., 2024; Streftaris & Zenetos, 2006).

1.3.2 L'espansione di *C. sapidus*: da habitat nativo a habitat alloctono invasivo

Il granchio blu è originario del litorale atlantico del continente americano. Qui la sua distribuzione si estende dal Golfo del Maine, nel New England settentrionale, attraverso il Golfo del Messico e i Caraibi, fino alle coste del Venezuela, del Brasile e dell'Argentina (Della Ceca et al., 2026; Mancinelli et al., 2024; Millikin et al., 1984). La diffusione attuale della specie interessa però un'ampia varietà di aree geografiche a livello globale (Gil-Fernández et al., 2024). In particolare in Europa, la specie fu segnalata per la prima volta nel 1901 lungo le coste atlantiche della Francia, probabilmente introdotta accidentalmente tramite le acque di zavorra delle navi (Mancinelli et al., 2024). In seguito, nel corso del Novecento, il granchio blu, grazie alla sua eccezionale capacità di adattarsi a diversi habitat e alla ampia disponibilità di risorse alimentari (Gavioli et al., 2025), ha esteso progressivamente il proprio areale di distribuzione. Tale espansione è risultata particolarmente evidente nell'ultimo decennio, con la sua stabilizzazione nel Mar Nero, lungo le coste atlantiche europee e africane, e nel mar Mediterraneo, dove è risultato essere una delle specie aliene invasive più impattanti (Mancinelli et al., 2024; Streftaris & Zenetos, 2006).

La prima segnalazione di *C. sapidus* nel Mar Mediterraneo risale al 1947, quando venne avvistato nel Mar Egeo (Mancinelli et al., 2024); in Italia fu avvistato per la prima volta nel 1949, nella laguna di Grado (Manfrin et al., 2016). Negli anni successivi ci furono altri avvistamenti lungo le coste del Mediterraneo, ma sempre relativi a catture accidentali e sporadiche (Tamburini, 2024). La specie è infatti rimasta poco numerosa fino agli anni 2000; in seguito, la sua diffusione ha subito una significativa accelerazione (Gil-Fernández et al., 2024). Al giorno d'oggi la specie è abbondantemente distribuita su tutto il perimetro del Mediterraneo, lungo il litorale dalla Spagna alla Turchia e lungo le coste egiziane, tunisine, algerine e marocchine (Della Ceca et al., 2026). In quest'area, negli ultimi anni, le sue popolazioni sono aumentate notevolmente, determinando forti effetti sulla biodiversità autoctona e sulle produzioni locali (Streftaris & Zenetos, 2006; Tamburini, 2024).

In Italia, la maggior parte dei pescatori artigianali ha cominciato ad osservare *C. sapidus* nel decennio compreso tra il 2010 e il 2020 (Marchessaux et al., 2023). Successivamente, la presenza del granchio blu è aumentata, raggiungendo un picco durante l'estate del 2023, quando è risultata particolarmente numerosa nell'Alto Adriatico, principalmente nelle lagune costiere e nell'area del Delta del Po (Della Ceca et al., 2026). In questa zona, la sua presenza è stata segnalata soprattutto nelle

lagune di Canarin e Scardovari (ARPAV) che, fin dagli anni Ottanta, costituiscono aree importanti a livello italiano ed europeo per la molluschicoltura, in particolare per l'allevamento della vongola verace filippina (*Ruditapes philippinarum*). L'invasione del granchio blu ha alterato la rete trofica di questi delicati ambienti lagunari, sia tramite la predazione diretta sia mediante la bioturbazione del sedimento (Tamburini, 2024). In questo modo, ha determinato gravi ripercussioni sulla produzione di molluschi (Della Ceca et al., 2026). Anche l'impatto sulla pesca artigianale è stato rilevante, poiché i granchi causano la distruzione delle reti e mutilazioni ai pesci catturati (Marchessaux et al., 2023; Streftaris & Zenetos, 2006), determinando una riduzione sia della quantità sia della qualità delle catture (Gavioli et al., 2025). Tali effetti si sono tradotti in una diminuzione dei ricavi della pesca e dell'acquacoltura, con ingenti perdite economiche per i pescatori artigianali (Marchessaux et al., 2023).

1.3.3 Granchio blu nel Delta del Po: strategie di gestione

Data la concreta minaccia di *C. sapidus* per l'ecosistema del Delta del Po, risulta indispensabile attuare strategie di gestione efficaci e mirate, volte a ridurre significativamente l'abbondanza. Tali interventi sono essenziali sia per mitigare il suo dannoso impatto ecologico, sia per consentire il recupero della produzione di vongole nell'area (Tiralongo et al., 2025). L'eradicazione completa del granchio blu rappresenta ormai uno scenario irrealistico (Tamburini, 2024); pertanto gli sforzi di gestione sono orientati alla comprensione delle dinamiche della specie, in modo da permettere la pianificazione di strategie efficaci per il suo controllo (Marchessaux et al., 2023). A tal proposito, si ritiene che una importante strategia di contenimento della specie consista nel pescarla e utilizzarla come risorsa (Marchessaux et al., 2023; Tamburini, 2024). In questo contesto, risultano particolarmente utili interventi mirati di pesca, concentrati in aree e periodi specifici, volti a ridurre il numero degli individui riproduttori, che rappresentano il potenziale di crescita delle popolazioni (Marchessaux et al., 2024). Tuttavia, la complessità del ciclo vitale del granchio blu rappresenta un ostacolo all'attuazione di tali misure di controllo. Pertanto, risulta fondamentale raccogliere dati sulla diffusione di *C. sapidus* tramite un monitoraggio continuo, per comprendere le dinamiche di popolazione a livello locale e quindi individuare i periodi e i luoghi ottimali per garantire interventi di gestione efficaci (Gavioli et al., 2025; Marchessaux et al., 2023; Marchessaux et al., 2024).

2. OBIETTIVI

Scopo di questa tesi è analizzare la distribuzione spazio-temporale di *C. sapidus* nelle lagune del Delta del Po basandosi su dati raccolti tramite campionamenti effettuati nelle sei diverse lagune del Delta (Caleri, Marinetta, Vallona, Barbamarco, Canarin, Scardovari) in due distinti periodi dell'anno (fine inverno, inizio estate). Lo studio si inserisce all'interno del più ampio progetto "Blue Crab Action Plan", coordinato dalla Regione Veneto e da ARPAV, con il coinvolgimento di vari enti locali e dell'Università degli Studi di Padova. Scopo del progetto è quello di "studiare e monitorare la diffusione e l'impatto del granchio blu nelle acque lagunari del Veneto, [...], valutare gli effetti sugli ecosistemi, biodiversità e attività economiche (acquacoltura e pesca), sviluppare strategie coordinate ed efficaci di gestione e tutela ambientale" (ARPAV).

Il presente lavoro rientra nelle attività di studio e monitoraggio di questo programma, con l'obiettivo di ampliare le conoscenze riguardo alle dinamiche di distribuzione di *C. sapidus* nel Delta del Po. A tal fine, ad ogni uscita sul campo sono stati raccolti i dati biometrici, sesso e stadio di maturità di ciascun individuo, e sono stati acquisiti i principali parametri abiotici del sito di campionamento. Questi dati sono stati poi analizzati per rilevare la presenza di differenze significative tra popolazioni di diverse lagune, e all'interno di una stessa laguna in periodi diversi dell'anno. Si è quindi cercato di analizzare le eventuali differenze osservate mettendole in relazione a fattori geografico – ambientali e al ciclo vitale della specie. La comprensione di tali fenomeni è infatti necessaria per pianificare interventi che risultino efficaci per il contenimento della specie. Tale misura di controllo è importante sia per preservare i delicati ecosistemi delle lagune del Delta del Po, sia per tutelare le attività tradizionali tipiche della piccola pesca locale di quest'area.

3. MATERIALI E METODI

3.1 Area di studio: lagune del Delta del Po

Nel delta, il fiume Po si divide nei rami del Po di Maistra, Po di Pila, Po di Tolle, Po di Gnocca o di Donzella, Po di Goro, e Po di Levante (Figura 6). Ad eccezione di quest'ultimo, che non è più attivo, gli altri rami contribuiscono alla formazione delle pianure alluvionali e dei diversi fronti deltizi che caratterizzano quest'area. Un sistema di dune e barriere, a volte connesse con lingue di terra, delimitano l'insieme delle lagune del Delta, separandole dal mare (Simeoni & Corbau, 2009).

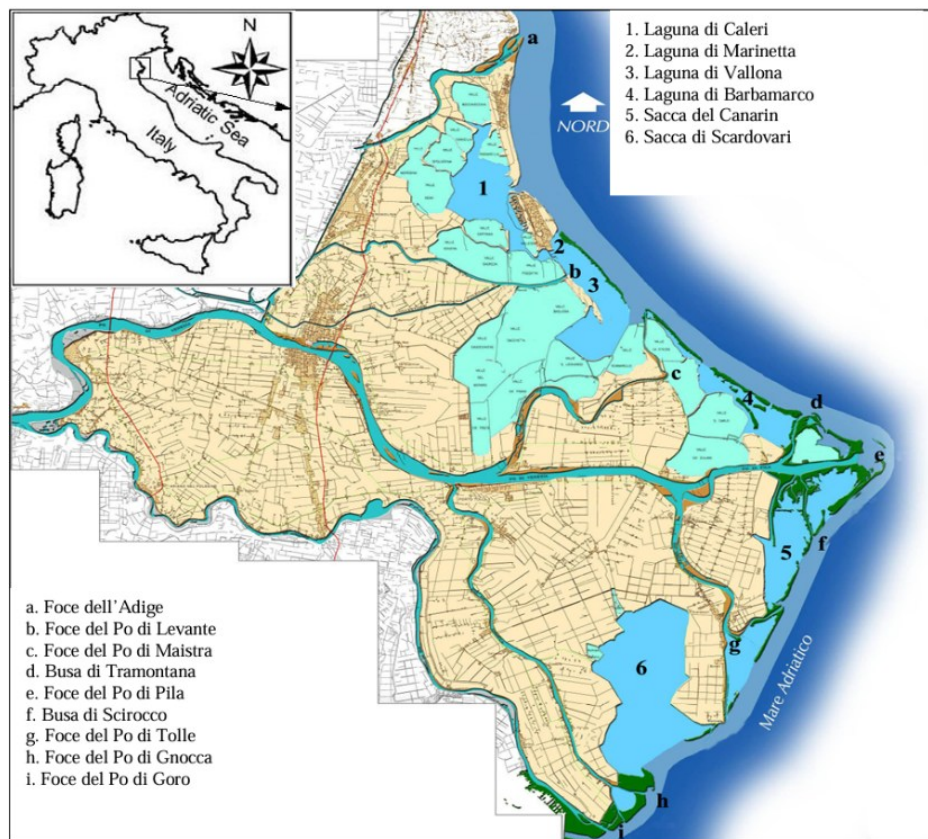


Figura 6. Delta del Po. Le lagune oggetto di studio sono indicate dai numeri (legenda in alto a destra). I rami del Po che le delimitano sono identificati dalle lettere b (Po di Levante), c (Po di Maistra), e (Po di Pila), g (Po di Tolle), h (Po di Gnocca), i (Po di Goro), poste alle rispettive foci. Fonte: Balasso (2010)

Le aree di campionamento considerate per lo studio sono le sei lagune del Delta del Po: Caleri, Marinetta, Vallona (settore nord del Delta del Po) e Barbamarco, Canarin, Scardovari (settore sud del Delta del Po) (Figura 6). Le sei lagune presentano un diverso grado di comunicazione col mare, di conseguenza si caratterizzano per differenti parametri chimico-fisici ambientali quali salinità, temperatura e ossigeno disciolto, variabili nel tempo (Munari et al., 2010).

La laguna di Caleri è il bacino situato più a Nord, si estende per circa 1.150 ettari e comunica col mare Adriatico tramite un'unica bocca. Immediatamente a sud, la foce del Po di Levante costituisce il confine tra le lagune di Marinetta – verso Caleri – e Vallona, appartenenti al medesimo bacino (Balasso, 2010).

Nel settore meridionale, procedendo da nord a sud, si distinguono le lagune di Barbamarco, Canarin e Scardovari. La prima, delimitata dalla foce del Po di Maistra e dalla Busa di Tramontana, si estende per 800 ettari con un fondale medio di 0.80 metri di profondità e comunica con il Mar Adriatico attraverso due bocche (ARPAV, 2004). La Sacca del Canarin si colloca tra i rami del Po di Pila e Po di Tolle, copre una superficie di 1000 ettari e si caratterizza per una profondità media di circa 1 metro (Balasso, 2010). Infine, tra i rami del Po di Tolle a Nord-Est e Po di Gnocca a Sud-Ovest, si colloca la Sacca di Scardovari. Questa, con oltre 3.000 ettari di superficie, costituisce il bacino più esteso dei sei presi in considerazione. Comunica con il Mar Adriatico attraverso un'unica foce orientata a sud-est e registra una profondità media di 1,5-2 metri (Balasso, 2010).

3.2 Campionamenti e misurazioni

Il monitoraggio è stato effettuato nei siti precedentemente descritti ogni due settimane, per un totale di due attività di campionamento al mese per ciascuna zona. Ai fini delle analisi per la presente tesi sono stati selezionati esclusivamente i dati raccolti negli archi temporali di febbraio-marzo e maggio-giugno 2026; alle attività sul campo di quest'ultimo periodo ho preso parte in prima persona. I campionamenti sono avvenuti sempre in collaborazione con i pescatori locali che cooperano con l'università di Padova. Due sono stati i tipi di trappola utilizzati dai pescatori per la cattura dei granchi: nassa e cogollo.

Le nasse sono piccole trappole mobili (Ferretti, 1983). Hanno sempre un'esca per attrarre la specie target e sono costruite in modo da permettere l'entrata della preda, attraverso una bocca d'ingresso a forma d'imbuto, ma non la sua uscita (Ferretti, 2011; Ferretti et al., 2002). Quelle utilizzate per il presente studio (Figura 7) erano costituite da un'intelaiatura in ferro plastificato a forma di parallelepipedo con dimensioni pari a 60x60x40 cm, e una maglia da 25 mm. Ciascuna unità era strutturata a doppia camera, con vano porta-esca e 4 ingressi lungo il perimetro.

I cogolli sono invece sistemi di cattura a postazione fissa, ancorati al fondo lagunare tramite dei pali. Non prevedono l'utilizzo di esche ma sfruttano le correnti d'acqua.

Sono infatti costituiti da un insieme di reti con la funzione di incanalare le prede in un corridoio costituito da una o più camere distanziate in modo opportuno. Queste camere sono separate da ingressi ad imbuto successivi, che impediscono la fuoriuscita della preda (Figura 8) (Ferretti et al., 2002). I dispositivi impiegati presentavano una lunghezza complessiva di 3,80 m, con alette laterali di 2,50 m e ala centrale di 5 m. L'altezza della rete, sia nei bracci laterali che nella camera centrale del cogollo, era pari a 50 cm. All'imboccatura della trappola erano presenti due telai rettangolari in acciaio inox di 100 x 50 cm. Per quanto riguarda la maglia della rete, nella parte anteriore (telai rettangolari all'imboccatura e braccetti laterali) misurava 24 mm, in quella terminale 22 mm.

Entrambi gli attrezzi da pesca sono stati calati in acqua il giorno precedente il campionamento, per un tempo complessivo di immersione di 24 ore.



Figura 7. Nassa utilizzata durante i campionamenti

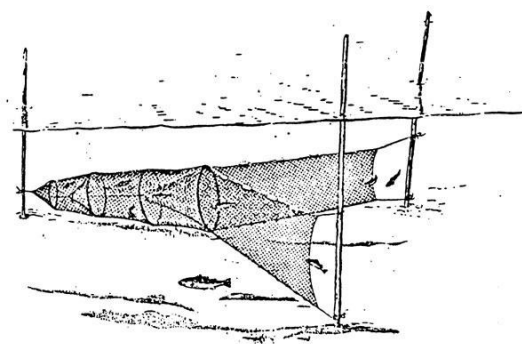


Figura 8. Struttura del cogollo. Fonte: FAO

Le misurazioni morfometriche dei granchi sono state fatte direttamente in barca durante i campionamenti, o successivamente, presso i laboratori della Stazione Idrobiologica “Umberto d’Ancona” di Chioggia (Dipartimento di Biologia dell’Università degli Studi di Padova). Per ogni campionamento, sono stati rilevati i dati morfologici di massimo 50 granchi (o di un numero inferiore, qualora gli individui catturati fossero meno numerosi) scelti casualmente per ottenere un campione rappresentativo.

I parametri morfologici misurati sono stati segnati su una scheda da campo e comprendevano (Figura 9):

- Larghezza totale del carapace, comprensiva di spine laterali (CW, Carapace Width)

- Larghezza interna del carapace, escludendo spine laterali e margini (CS, Carapace Spine-to-Spine Length)
- Lunghezza del carapace, ossia misurazione antero – posteriore dell'animale (CL, Carapace Length)

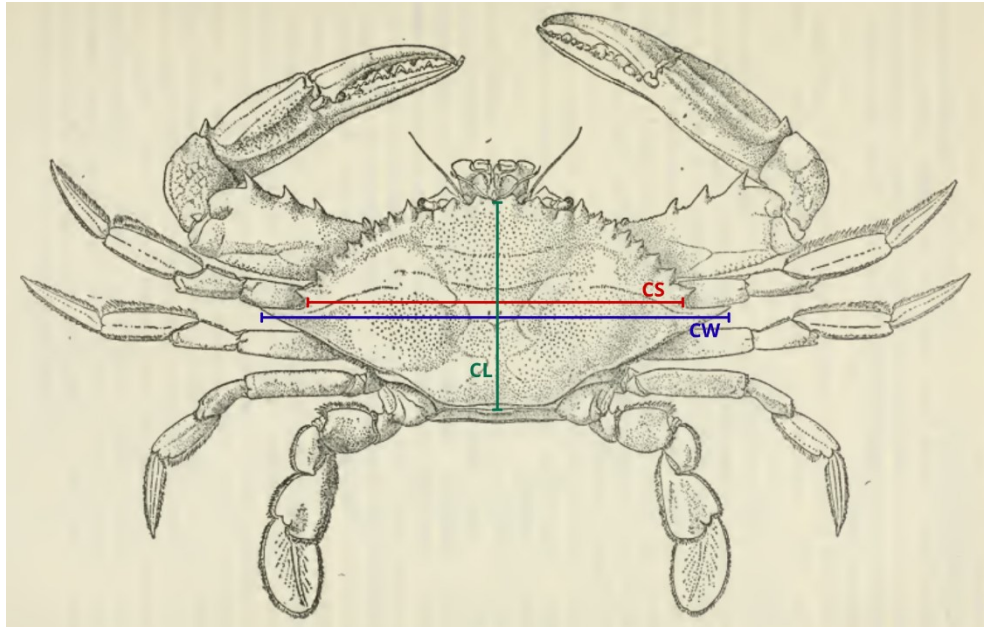


Figura 9. Parametri morfologici considerati: larghezza totale del carapace – CW – (blu), larghezza interna – CS – (rosso) e lunghezza – CL – (verde). Immagine adattata da Rathbun (1930)

Tutte queste misure sono intese in centimetri e sono state effettuate con metro da sarta (precisione ± 0.5 cm). Eventuali anomalie rispetto agli standard morfologici tipici della specie (assenza di spine laterali, spina rotta) sono state annotate.

È stato inoltre misurato il peso (W) di ciascun animale, in grammi, tramite dinamometro (precisione ± 5 g) attaccato ad un secchio dove i granchi sono stati inseriti singolarmente direttamente durante le operazioni in barca (Trapasso, 2025). Quando le misurazioni dei granchi sono state fatte nei laboratori della Stazione Idrobiologica, per la misura del peso è stata utilizzata una bilancia di precisione (errore ± 0.001 g). Nei casi in cui il granchio era privo di una o entrambe le chele, questo aspetto è stato riportato sulla scheda. Infine, per ogni granchio sono stati determinati:

- sesso: maschio (M) o femmina (F)
- stadio di maturità: adulto (A) o giovane (J)
- nel caso di femmine con uova, lo stadio di maturità della covata

Il sesso dell'individuo è stato definito osservando la forma dell'addome (Manfrin et al., 2015; Millikin, 1984) (Figure 10-12).

Lo stadio di maturità (adulto oppure giovane, immaturo) è stato stabilito qualitativamente, sulla base di osservazioni morfologiche. Nel caso delle femmine è stata osservata la forma dell'apron (Millikin, 1984) (Figure 10,12). Per gli individui maschi invece, è stata considerata innanzitutto la larghezza del carapace e, se necessario, anche colorazione e grandezza delle chele. I maschi con una larghezza complessiva del carapace (CW) maggiore di 12 cm sono stati classificati come adulti (Mancinelli et al., 2024; Marchessaux et al., 2023) e quelli con $CW < 10$ cm giovani. Per quelli con larghezza intermedia ($10\text{ cm} < CW < 12\text{ cm}$), sono stati osservati il colore del lato ventrale delle chele (ancora rossastro negli individui giovani, azzurro/blu in quelli adulti) e la dimensione delle chele (ancora non robuste nei giovani, più solide e grandi negli individui adulti).

Nel caso delle femmine ovigere, lo stadio di sviluppo delle uova è stato attribuito in base al colore della massa ovigera, identificando quattro stadi: giallo o arancione acceso (stadio 1), marrone (stadio 2), nero (stadio 3), ed infine stadio 4: le uova sono state da poco rilasciate, l'addome della femmina è mobile/libero con poche uova nere rimaste e le setae sono molto visibili ed evidenti (Kevrekidis et al., 2024; Trapasso 2025) (Figure 13-15).



Figura 10. Femmina adulta di granchio blu. Si può osservare la forma a semicerchio dell'apron



Figura 11. Maschio adulto. L'apron è a forma di "T rovesciata"



Figura 12. Femmina giovane di granchio blu: a differenza di quella adulta, l'apron è triangolare



Figura 13. Femmina ovigera allo stadio 1



Figura 14. Femmina ovigera allo stadio 2



Figura 15. Femmina ovigera allo stadio 3

Per ogni uscita in barca, sono stati inoltre rilevati i parametri abiotici per la caratterizzazione delle condizioni ambientali dei siti di campionamento. Per questi rilievi è stata utilizzata una sonda multiparametrica portatile (HANNA Instrumens, modello HI98494). Lo strumento è stato calibrato per l'ossigeno disciolto il giorno stesso delle uscite, su terra ferma, prima dei campionamenti. Durante il campionamento, la sonda è stata immersa nella colonna d'acqua a barca ferma, poco sotto la superficie ma permettendo un'immersione completa dei sensori. I parametri considerati sono stati: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinità (PSU), pH e ossigeno disciolto (in mg L^{-1} e % di saturazione) e conducibilità ($\mu\text{S/cm}$) (Checchin, 2025).

Ai dati sopra descritti rilevati dagli operatori dell'università, si sono aggiunti i dati forniti singolarmente da ogni pescatore, relativi anche alle uscite fatte in assenza di personale dell'università, per un totale di 20 uscite mensili. A ciascun pescatore è

stata infatti consegnata una apposita scheda da compilare ad ogni uscita, in cui segnare tipo di trappola usata (nassa/cogollo), tipo di esca (carne/pesce), pesa totale e composizione del pescato (chili di individui femmine, chili di individui maschi e chili totali).

3.3 Analisi dati

I dati raccolti durante i campionamenti sono stati trascritti, elaborati statisticamente e rappresentati tramite il software Microsoft Excel (versione per Microsoft 365). Ad ogni misurazione è stato associato un codice identificativo contenente indicazioni sulla zona del campionamento, la tipologia di trappola impiegata e la data del prelievo. Ad ogni codice è stata associata una riga all'interno della matrice dati, in cui sono stati registrati i parametri morfometrici dell'individuo misurato e i dati abiotici relativi al luogo di campionamento. Sono stati inoltre inseriti data e ora di posa e recupero dei dispositivi da pesca, la tipologia e il numero di trappole salpate e, infine, eventuali note di campo.

Inizialmente, è stata condotta un'analisi sui fattori abiotici principali – temperatura e salinità – rilevati nelle sei lagune durante i due periodi di campionamento. A tal fine, per ciascuna laguna è stata calcolata la media aritmetica di temperatura (°C) e salinità (PSU) a fine inverno e inizio estate. I valori ottenuti sono stati rappresentati tramite due grafici a linee, in cui ad ogni laguna è associata una linea che collega i valori medi di temperatura, o salinità, nel primo e secondo periodo. In questo modo i grafici hanno permesso di visualizzare la variazione di tali parametri tra i due distinti periodi dell'anno.

Per l'analisi della distribuzione delle caratteristiche morfometriche dei granchi nell'area del Delta, è stato realizzato un *box plot* per ciascuno dei parametri precedentemente indicati (CW, CS, CL e peso). I dati sono stati rappresentati secondo una suddivisione spaziale, in modo da consentire il confronto del loro andamento prima tra le sei lagune e successivamente, a livello più generale, tra i due settori del Delta. In questa fase non è stata operata alcuna distinzione temporale: i valori riportati per ciascun sito fanno riferimento a entrambi i periodi di campionamento.

Successivamente, sono state condotte analisi morfometriche mettendo in relazione i diversi parametri biometrici per analizzare la loro correlazione. A questo scopo sono stati realizzati quattro grafici a dispersione (*scatter plot*), associando ogni

volta due parametri relativi alla totalità del campione, senza distinzioni spaziali e temporali. Per ciascuna relazione è stata calcolata l'equazione della curva di regressione che meglio descriveva l'andamento dei dati visualizzato nel grafico. È stato calcolato anche il coefficiente di determinazione R^2 , per valutare la bontà di adattamento della curva all'andamento delle coppie di valori presi in considerazione. I grafici definitivi sono stati ottenuti rimuovendo manualmente eventuali *outlier*; tale rimozione è stata effettuata sulla base della valutazione visiva del grafico, considerando come elemento discriminante la presenza di osservazioni nettamente isolate rispetto alla distribuzione complessiva dei dati.

Per una prima analisi demografica, sono stati elaborati grafici a torta rappresentanti la *sex ratio* (proporzione maschi/femmine) e gli stadi di maturità (proporzione giovani/adulti) della popolazione. Tali grafici sono stati realizzati in prima istanza considerando la totalità degli esemplari campionati, senza distinzioni di luogo e periodo, poi operando una suddivisione spaziale tra le sei lagune del Delta, in modo da visualizzare la struttura delle popolazioni locali al netto del periodo.

In seguito, è stata condotta un'analisi mirata a confrontare l'efficacia dei due diversi sistemi di cattura utilizzati, nassa e cogollo. A tal fine, è stato calcolato il valore CPUE (*Catch Per Unit Effort*) per ognuno dei due dispositivi, secondo la formula $CPUE = \text{kg di pescato} / \text{numero di attrezzi utilizzati}$. I valori relativi ai kg di pescato sono stati ricavati dalle schede compilate dai pescatori per ciascuna delle loro uscite mensili, prendendo in considerazione soltanto i dati relativi alle uscite effettuate in occasione dei campionamenti con il personale dell'università nelle sei lagune e nei periodi dell'anno su cui si è focalizzato il presente studio. I valori CPUE ottenuti sono stati successivamente rappresentati mediante grafico *box plot*, suddivisi per tipologia di trappola.

Infine, l'analisi demografica dei dati raccolti si è focalizzata sull'esame della struttura di popolazione, in termini di *sex ratio* e stadi di maturità, in ciascuna laguna nei due diversi periodi dell'anno.

A tal fine, sono stati innanzitutto realizzati quattro diagrammi a barre composte percentuali, due raffiguranti la *sex ratio*, di cui uno relativo alle lagune del Settore Nord e l'altro del Settore Sud, e due riguardanti gli stadi di maturità delle popolazioni, seguendo la stessa divisione. In ogni grafico i dati relativi a ciascuno dei tre siti del settore sono stati rappresentati distinguendo tra primo e secondo periodo di campionamento. In questo modo i grafici hanno permesso di evidenziare

eventuali variazioni nella struttura delle popolazioni locali tra i due distinti periodi dell'anno.

A questi diagrammi sono state affiancate analisi statistiche tramite test del Chi-quadro, in modo da confermare numericamente quanto emerso a livello grafico. Per ogni laguna sono stati calcolati i valori osservati di individui maschi e femmine (nonché di giovani e adulti) per ciascun periodo, e successivamente i relativi valori attesi. A partire da questi dati è stato calcolato, per ogni laguna, il valore complessivo del Chi-quadro (χ^2).

4. RISULTATI

4.1 Fattori abiotici

I grafici riportati nelle Figure 16 e 17 evidenziano che, in ciascuna laguna del Delta, si è verificato un aumento sia della temperatura sia della salinità nel passaggio dalla fine dell'inverno all'inizio dell'estate. L'incremento più marcato della temperatura media è stato registrato a Vallona, dove il valore è passato da 10.40 ± 2.69 °C alla fine dell'inverno a 23.92 ± 3.56 °C all'inizio dell'estate. Anche Caleri ha mostrato un aumento notevole, con valori medi passati da 11.77 ± 2.31 °C a 24.99 ± 3.04 °C. A Marinetta la temperatura media è aumentata da 11.69 ± 1.81 °C a 23.61 ± 3.42 °C, a Barbamarco da 10.21 ± 2.02 °C a 22.09 ± 2.29 °C, a Canarin da 10.10 ± 2.18 °C a 21.73 ± 2.69 °C e a Scardovari da 10.15 ± 3.52 °C a 22.00 ± 2.64 °C. Per quanto riguarda la salinità, i valori medi più bassi, in entrambi i periodi considerati, sono stati rilevati a Vallona, dove sono passati da 13.44 ± 3.61 PSU alla fine dell'inverno a 20.37 ± 3.24 PSU all'inizio dell'estate. Marinetta ha registrato valori di salinità media simili: 13.56 ± 3.49 PSU nel primo periodo e 22.40 ± 2.97 PSU nel secondo. Nelle altre lagune sono stati rilevati valori medi più elevati: a Caleri da 22.43 ± 3.40 PSU a 29.13 ± 1.62 PSU, a Barbamarco da 20.24 ± 3.84 PSU a 28.65 ± 3.92 PSU, a Canarin da 20.52 ± 7.28 PSU a 26.34 ± 3.20 PSU e a Scardovari da 23.53 ± 3.30 PSU a 27.18 ± 1.07 PSU.

Inoltre, considerando le lagune suddivise tra Delta Nord e Delta Sud, si è potuto osservare che, in entrambi i periodi dell'anno, la temperatura media nel Delta Nord (da 11.27 ± 2.39 °C alla fine dell'inverno a 24.17 ± 3.39 °C all'inizio dell'estate) è superiore a quella rilevata nel Delta Sud (da 10.15 ± 2.64 °C a 21.94 ± 2.56 °C). Al contrario, la salinità presenta valori medi più elevati nel settore meridionale (da 21.39 ± 5.38 PSU a 27.36 ± 3.14 PSU) rispetto a quello settentrionale (da 16.44 ± 5.47 PSU a 23.97 ± 4.62 PSU).

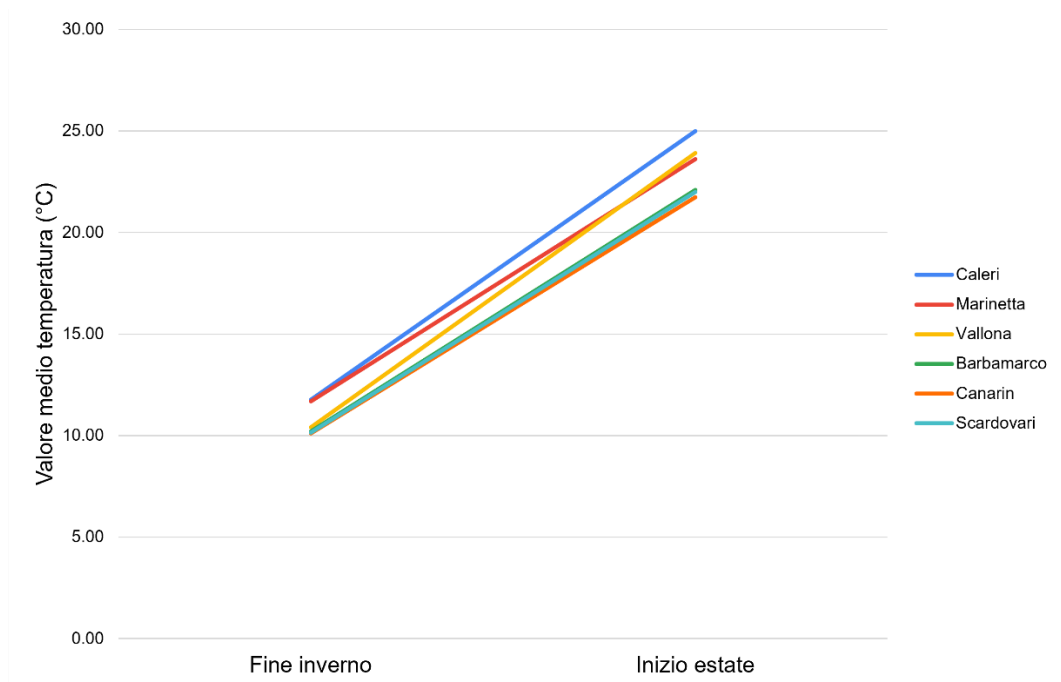


Figura 16. Variazione della temperatura media (°C) rilevata nelle sei lagune del Delta tra il primo e il secondo periodo di campionamento.

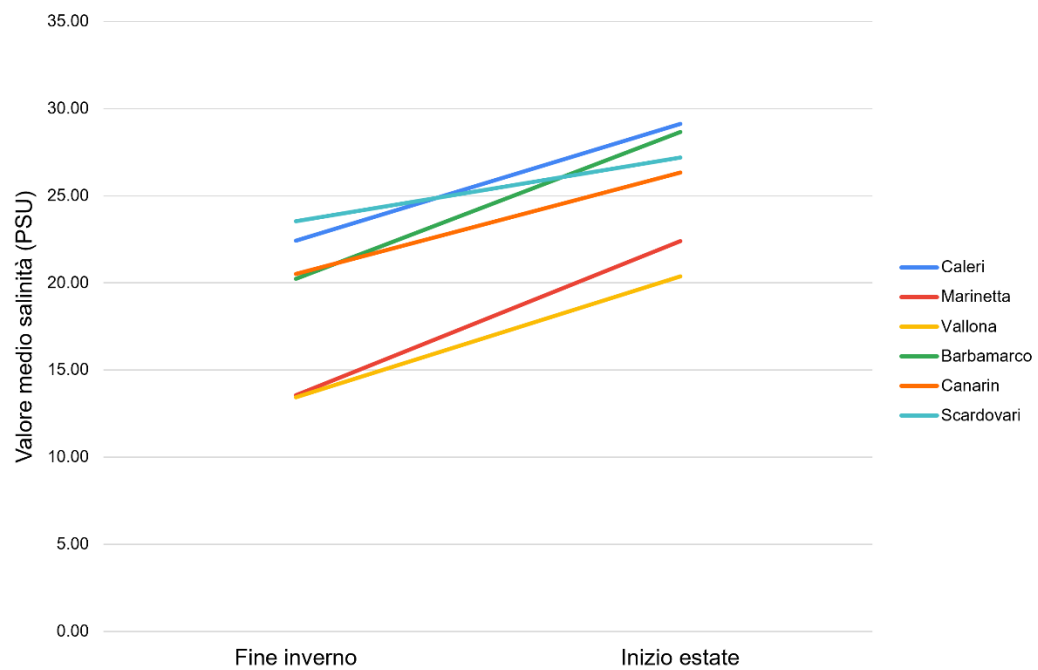


Figura 17. Variazione della salinità media (PSU) rilevata nelle sei lagune del Delta tra il primo e il secondo periodo di campionamento.

4.2 Parametri biometrici

Il grafico in Figura 18 illustra la distribuzione dei valori della larghezza totale del carapace (CW) rilevati nelle sei lagune del Delta del Po, senza operare una distinzione per periodo di campionamento. In tutti i bacini, i valori di CW si collocano in un intervallo simile, con la maggior parte delle misure concentrate nella fascia compresa tra i 10 e i 15 cm. L'analisi evidenzia tuttavia la presenza di differenze tra i siti: i valori medi di CW più elevati sono stati registrati nella laguna di Marinetta (media = 14.5 ± 1.9 cm), seguita da Vallona (13.3 ± 2.5 cm), Barbamarco ($12.9 \text{ cm} \pm 2.4$ cm), Caleri (12.5 ± 2.3 cm), Scardovari (12.3 ± 2.2 cm), e infine Canarin (12.0 ± 2.7 cm). Nel complesso, il settore settentrionale ha registrato una larghezza media superiore (13.4 ± 2.4 cm) rispetto a quella meridionale (12.4 ± 2.4 cm) (Figura 19). Dal grafico emerge inoltre che la laguna di Canarin, caratterizzata dal valore medio più basso, presenta la maggiore variabilità dei valori di CW; in questa area sono stati infatti registrati sia il valore minimo assoluto (4.9 cm) sia il valore massimo assoluto (20.0 cm) dell'intero campionamento.

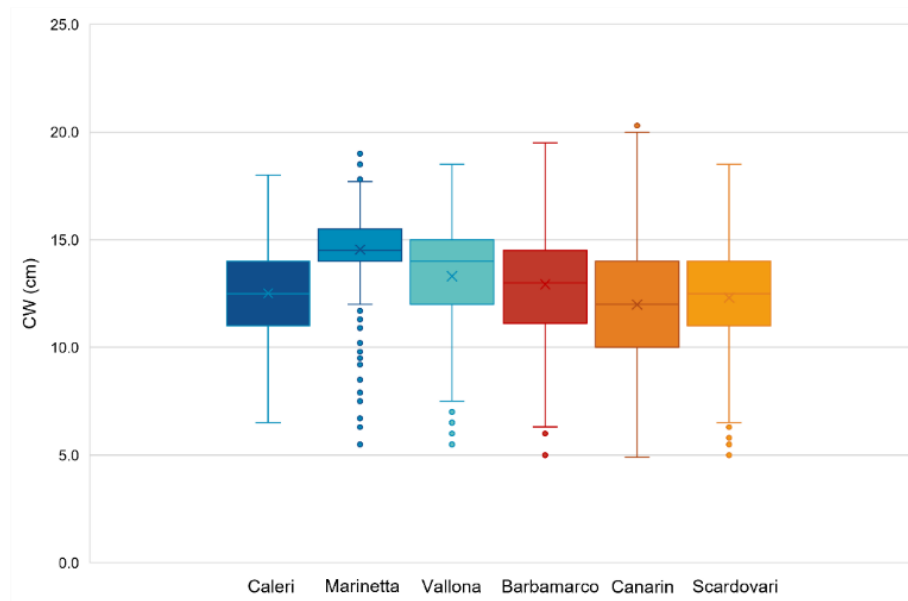


Figura 18. Distribuzione della larghezza totale del carapace (CW), espressa in centimetri, degli esemplari campionati nelle sei lagune del Delta del Po. I diversi colori identificano le lagune; ciascun box mostra la mediana (linea interna), la media (croce interna), l'intervallo interquartile (il box) e i valori anomali (punti), mentre i baffi indicano i valori di minimo e massimo esclusi gli outlier. La media più elevata è stata registrata nella laguna di Marinetta.

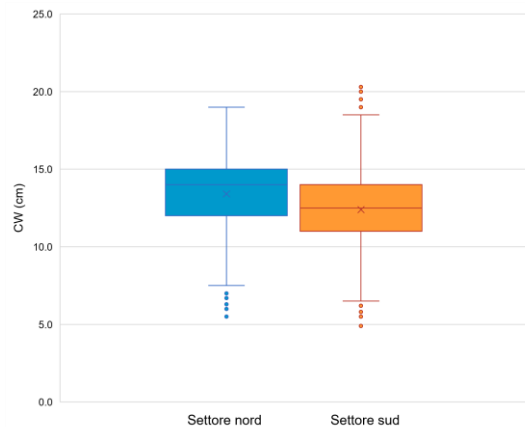


Figura 19. Distribuzione della larghezza totale del carapace (CW), espressa in centimetri, degli esemplari campionati nei due diversi settori del Delta del Po (Nord e Sud). I diversi colori indicano i settori; ciascun box mostra la mediana (linea interna), la media (croce interna), l'intervallo interquartile (il box) e i valori anomali (punti), mentre i baffi indicano i valori di minimo e massimo esclusi gli outlier. I valori registrati nel Delta Nord sono risultati mediamente superiori a quelli del Delta Sud.

Il medesimo andamento spaziale è confermato anche per la larghezza interna del carapace (CS), misurata al netto dei margini e delle spine laterali. Anche in questo caso, i valori medi più elevati si concentrano nella laguna di Marinetta (11.7 ± 1.4 cm), seguita, nell'ordine che ricalca quello osservato per la CW, da Vallona (10.8 ± 1.9 cm), Barbamarco (10.5 ± 1.6 cm), Caleri (10.2 ± 1.6 cm), Scardovari (10.0 ± 1.6 cm) e Canarin (9.9 ± 1.8 cm) (Figura 20). Pertanto, risulta confermata la tendenza a dimensioni maggiori degli esemplari nel settore settentrionale del Delta del Po, con una media complessiva di CS pari a 10.9 ± 1.8 cm rispetto ai 10.1 ± 1.7 cm del settore meridionale (Figura 21).

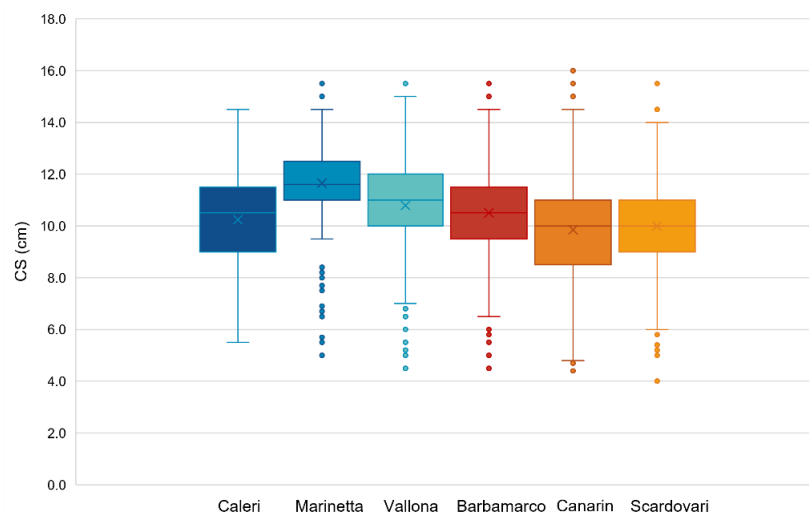


Figura 20. Distribuzione della larghezza interna del carapace (CS) degli esemplari campionati nelle sei lagune del Delta del Po. I diversi colori identificano le lagune; ciascun box mostra la mediana (linea interna), la media (croce interna), l'intervallo interquartile (il box) e i valori anomali (punti), mentre i baffi indicano i valori di minimo e massimo esclusi gli outlier. Il valore medio più elevato è stato registrato nella laguna di Marinetta.

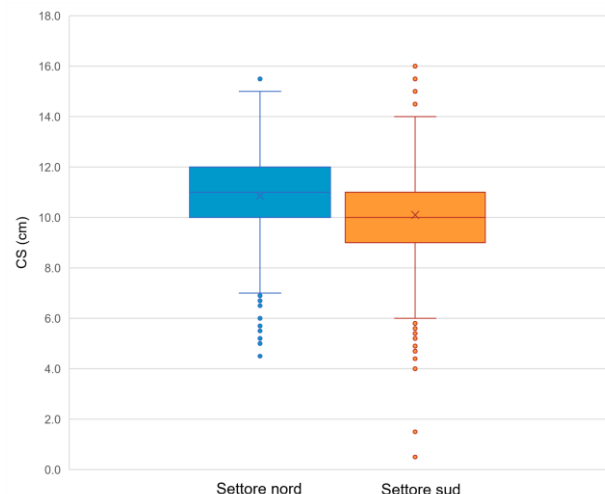


Figura 21. Distribuzione della larghezza interna del carapace (CS) degli esemplari campionati nei due diversi settori del Delta del Po (Nord e Sud). I diversi colori identificano i settori; ciascun box mostra la mediana (linea interna), la media (croce interna), l'intervallo interquartile (il box) e i valori anomali (punti), mentre i baffi indicano i valori di minimo e massimo esclusi gli outlier. I valori registrati nel Delta Nord sono risultati mediamente superiori a quelli del Delta Sud.

In merito alla lunghezza del carapace (CL), riportata nella Figura 22, e intesa come misura antero-posteriore dell'animale, la laguna di Marinetta si conferma il sito con la media più alta (6.8 cm; ± 0.9 SD), nettamente superiore rispetto a quella delle altre aree monitorate. I restanti bacini presentano valori medi inferiori e più ravvicinati, compresi tra i 6.1 ± 1.0 cm di Vallona e i 5.7 ± 0.9 cm di Scardovari (Barbamarco: 6.0 ± 0.9 cm; Caleri: 5.9 ± 0.9 cm; Canarin: 5.8 ± 1.0 cm). La distribuzione spaziale complessiva dei valori di CL evidenzia nuovamente la prevalenza dimensionale degli individui nel settore settentrionale (media = 6.3 ± 1.0 cm) rispetto a quello meridionale (5.8 ± 0.9 cm) (Figura 23).

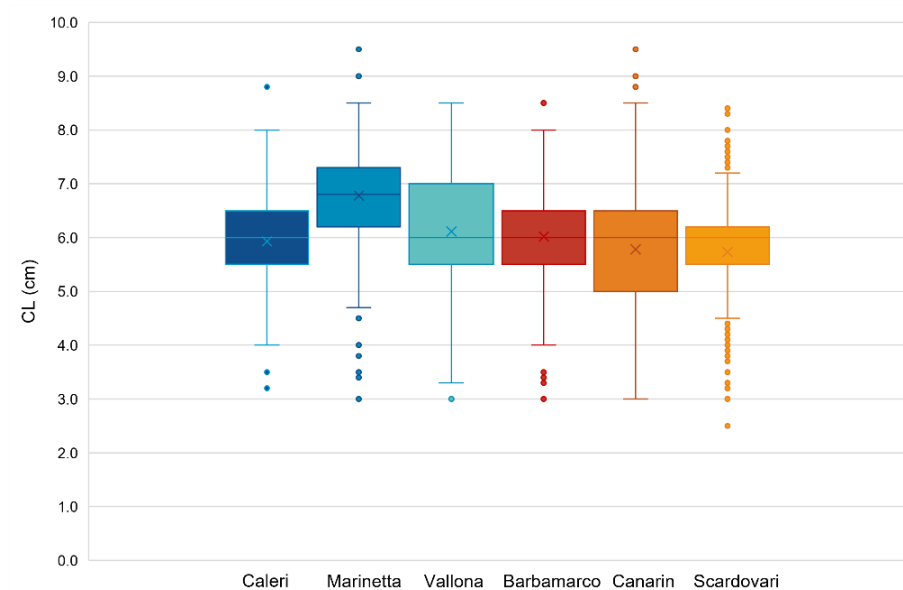


Figura 22. Distribuzione della lunghezza del carapace (CL) degli esemplari campionati nelle sei lagune del Delta del Po. I diversi colori identificano le lagune; ciascun box mostra la mediana (linea interna), la media (croce interna), l'intervallo interquartile (il box) e i valori anomali (punti), mentre i baffi indicano i valori di minimo e massimo esclusi gli outlier. Il valore medio più elevato è stato registrato nella laguna di Marinetta.

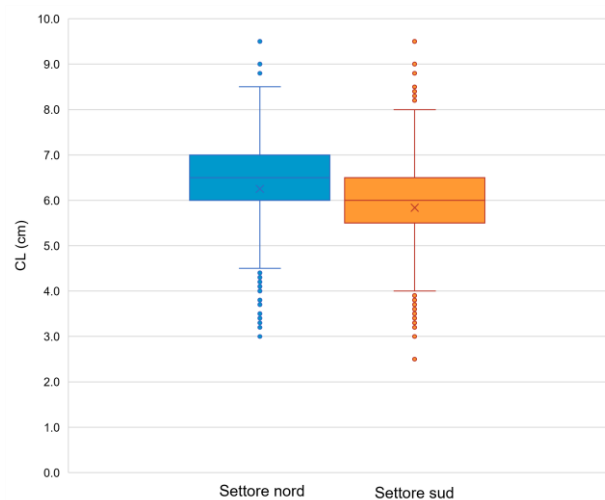


Figura 23. Distribuzione della lunghezza del carapace (CL) degli esemplari campionati nei due diversi settori del Delta del Po (Nord e Sud). I diversi colori identificano i settori; ciascun box mostra la mediana (linea interna), la media (croce interna), l'intervallo interquartile (il box) e i valori anomali (punti), mentre i baffi indicano i valori di minimo e massimo esclusi gli outlier. I valori registrati nel Delta Nord sono risultati mediamente superiori a quelli del Delta Sud.

La Figura 24 rappresenta l'andamento spaziale del peso corporeo degli individui nei diversi siti di campionamento. Si osserva come l'andamento confermi la maggiore dimensione degli individui nel settore settentrionale del Delta. Tale evidenza emerge chiaramente dal confronto tra i due macrosettori (Figura 25), dal quale si evince che il peso medio degli individui nel Delta Nord è pari a 157 ± 68 g, risultando nettamente superiore rispetto al valore medio registrato nell'area del

Delta Sud, pari a 123 ± 56 g. A livello locale, il valore medio più elevato è stato registrato nella laguna di Marinetta 187 ± 72 g; seguono, in ordine decrescente, Vallona (153 ± 68 g), Barbamarco (139 ± 61 g), Caleri (134 ± 52 g), Scardovari (118 ± 48 g) e Canarin (114 ± 56 g).

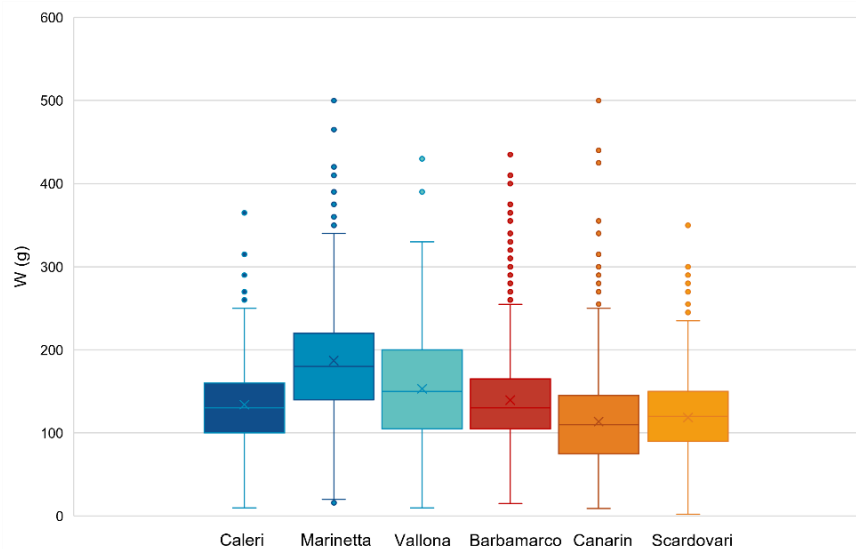


Figura 24. Distribuzione del peso corporeo (W) degli esemplari campionati nelle sei lagune del Delta del Po. I diversi colori identificano le lagune; ciascun box mostra la mediana (linea interna), la media (croce interna), l'intervallo interquartile (il box) e i valori anomali (punti), mentre i baffi indicano i valori di minimo e massimo esclusi gli outlier. Il valore medio più elevato è stato registrato nella laguna di Marinetta.

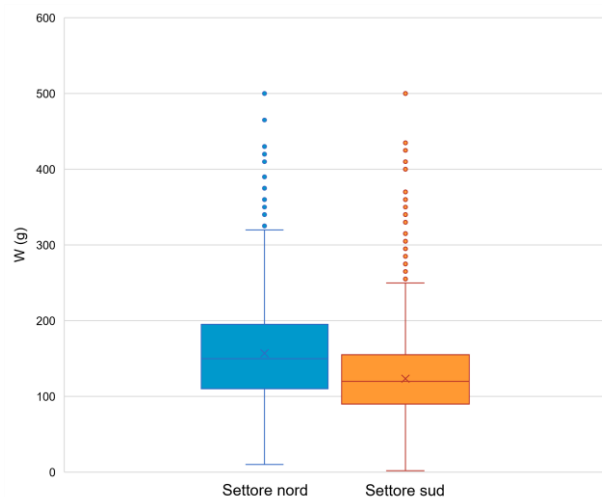


Figura 25. Distribuzione della lunghezza del carapace (CL) degli esemplari campionati nei due diversi settori del Delta del Po (Nord e Sud). I diversi colori identificano i settori; ciascun box mostra la mediana (linea interna), la media (croce interna), l'intervallo interquartile (il box) e i valori anomali (punti), mentre i baffi indicano i valori di minimo e massimo esclusi gli outlier. I valori registrati nel Delta Nord sono risultati mediamente superiori a quelli del Delta Sud.

4.3 Analisi di correlazione

Al fine di valutare i rapporti di crescita di *C. sapidus*, è stata valutata la correlazione tra le diverse coppie di parametri biometrici rilevati.

Dal grafico in Figura 26, incentrato sulla relazione tra CW e CS – larghezza con e senza spine laterali del carapace – è stato ricavato un coefficiente di determinazione R^2 pari a 0.92 circa, che indica una forte correlazione tra i due parametri analizzati: l'incremento della larghezza totale è direttamente associato a un aumento proporzionale della larghezza interna. Tale relazione riflette una crescita geometricamente regolare e uniforme delle diverse componenti del carapace.

Anche nel caso della relazione tra CW e CL, larghezza massima del carapace e sua lunghezza, il grafico mette in luce una correlazione lineare e positiva con coefficiente R^2 pari a 0.82 circa. All'aumentare della larghezza totale del carapace è quindi associata anche una crescita in senso antero-posteriore dell'animale, sebbene con una corrispondenza meno stretta rispetto a quanto osservato precedentemente per relazione CW-CS. Tale dinamica è confermata dal grafico (Figura 27), in cui emerge una maggiore dispersione delle coppie di misure attorno alla retta che esprime linearmente la correlazione tra i due parametri.

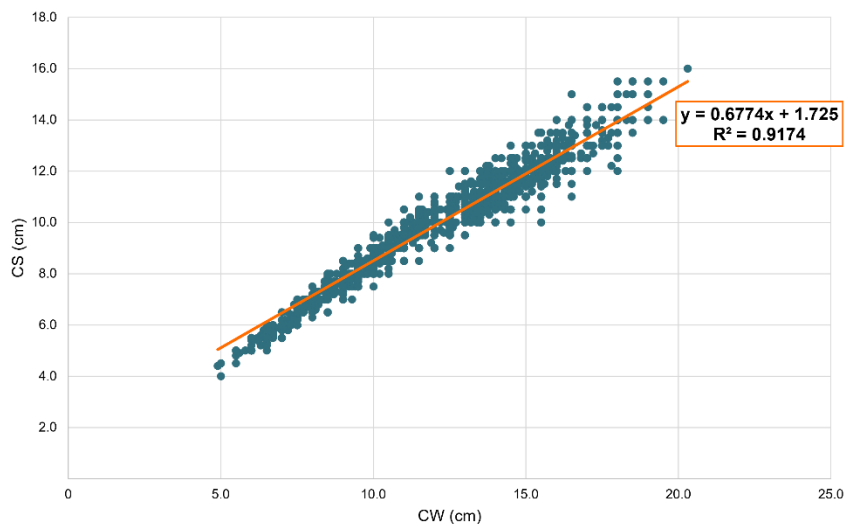


Figura 26. Grafico di dispersione della relazione tra CW (cm; asse x) e CS (cm; asse y). I punti rappresentano le singole osservazioni, mentre la linea arancione indica la retta di regressione lineare. L'equazione della retta e il relativo coefficiente di determinazione (R^2) sono riportati nel riquadro in alto a destra. Il valore elevato di R^2 evidenzia la forte relazione lineare tra le due variabili.

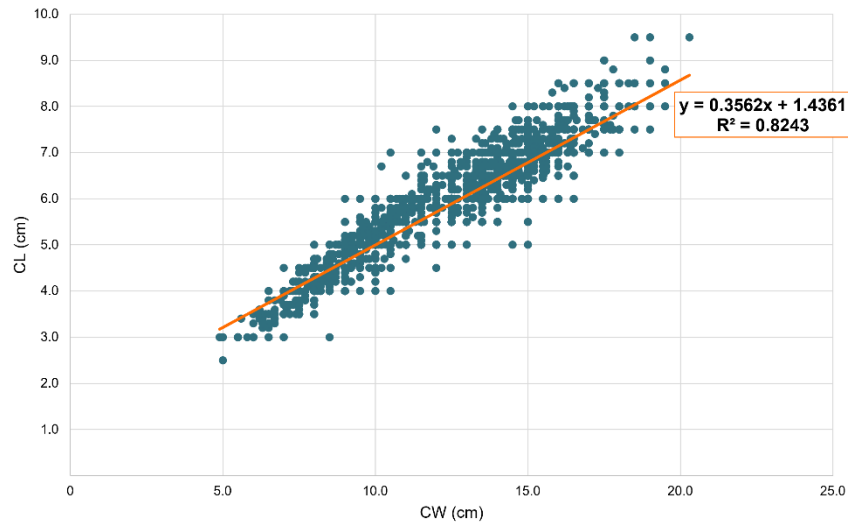


Figura 27. Grafico di dispersione della relazione tra CW (cm; asse x) e CL (cm; asse y), con relativa retta di regressione lineare. L'elevato valore di R^2 indica un buon adattamento del modello lineare ai dati.

Il grafico focalizzato sulla relazione tra CL e CS (Figura 28), evidenzia una correlazione lineare positiva con coefficiente R^2 pari a 0.87 circa, un valore superiore rispetto a quello riscontrato nel grafico CW-CL. Lo sviluppo in lunghezza dell'animale (CL) risulta pertanto più strettamente associato con l'incremento della larghezza interna del carapace (CS), al netto di spine e margini laterali, piuttosto che con quella totale (CW). Tale aspetto mette in evidenza come la grandezza CS descriva in modo adeguato sia la variabilità di CW sia di CL, mostrando di essere il parametro con la correlazione più forte (R^2 maggiore) con le altre misure morfometriche. In questo modo, CS si configura come parametro ottimale da indicatore di riferimento per la taglia corporea da mettere in relazione con il peso dell'individuo (W) (Figura 29). La correlazione tra le due variabili risulta positiva, con R^2 corrispondente a 0.85 circa. A differenza dei casi in cui vengono associate tra di loro variabili morfometriche, la correlazione in questo caso non segue un andamento lineare, bensì una funzione di potenza ($y = 0.2066x^{2.7362}$) con coefficiente di scala $b=2.7362$.

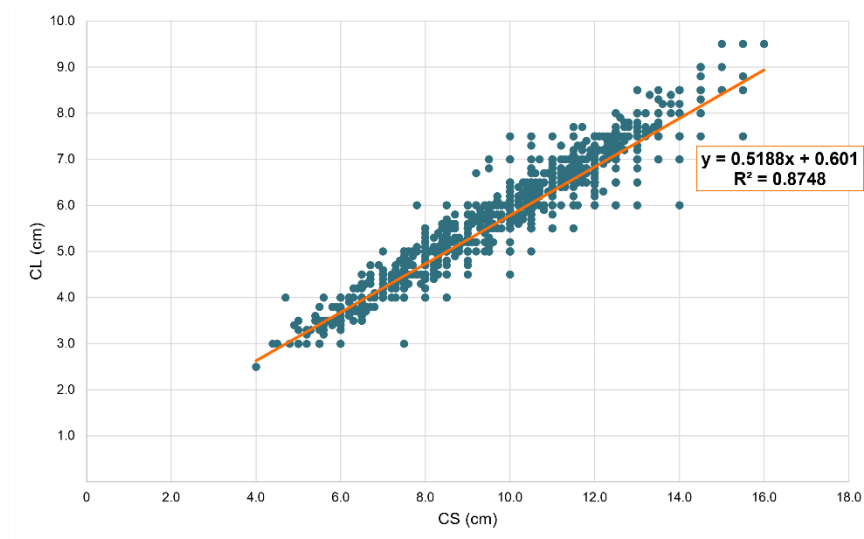


Figura 28. Grafico di dispersione della relazione tra CS (cm; asse x) e CL (cm; asse y), con relativa retta di regressione lineare. L'elevato valore di R^2 indica un buon adattamento del modello lineare ai dati.

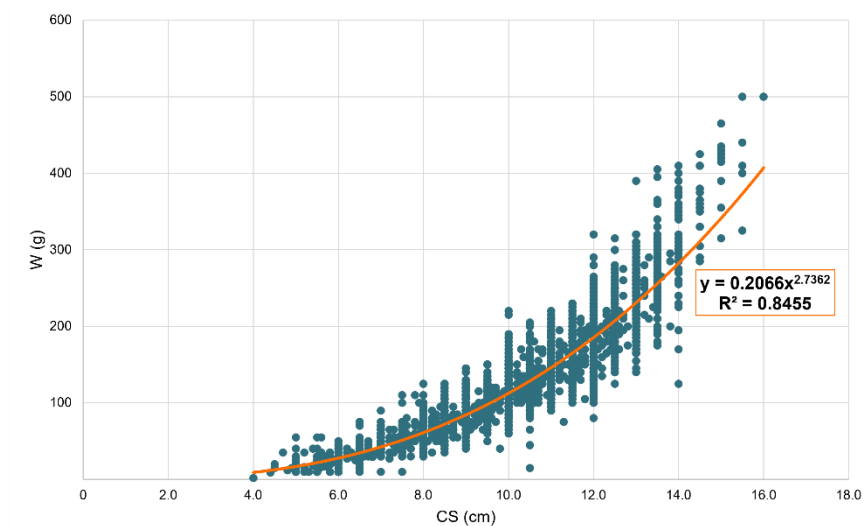


Figura 29. Grafico di dispersione della relazione tra CS (cm; asse x) e W (g; asse y), con relativa curva di regressione. La curva evidenzia la relazione secondo una funzione potenza tra le due variabili. L'elevato valore di R^2 indica un buon adattamento del modello potenza ai dati.

4.4 Analisi demografica

Le analisi sono state condotte su un totale di 5553 esemplari.

La Figura 30 mostra una *sex ratio* sostanzialmente bilanciata, con i maschi presenti nella popolazione complessiva al 52% (2900 individui) e le femmine al 48% (2653 individui). Per quanto riguarda lo stadio di maturità, la Figura 31 evidenzia una netta predominanza degli individui adulti, che rappresentano il 75% (4152 individui) del campione totale, su quelli giovani, rappresentati solo dal 25% (1401 individui).

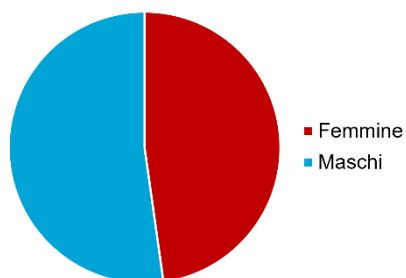


Figura 30. Composizione percentuale del campione complessivo, senza distinzione per periodo e luogo di campionamento, in termini di maschi e femmine. La *sex ratio* risulta sostanzialmente bilanciata.

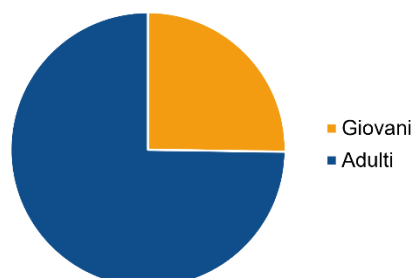


Figura 31. Composizione percentuale del campione complessivo, senza distinzione per periodo e luogo di campionamento, in relazione agli stadi di maturità. La fascia adulta risulta nettamente preponderante.

Nelle analisi divise per laguna, dalla Figura 32 si osserva come ciascuna laguna rispecchi, con variazioni più o meno spiccate, l'andamento generale. In particolare, nelle lagune di Caleri e Vallona la percentuale di individui maschili è leggermente più elevata, pari rispettivamente al 58% (302 individui su 520 totali) e al 56% (289 su 518). Lo stesso vale anche per le lagune di Canarin e Scardovari, quelle che più riflettono l'andamento generale, con individui maschili presenti al 52% nella prima (679 su 1311) e al 53% nella seconda (781 su 1476). La *sex ratio* in assoluto più equilibrata si osserva nella laguna di Barbamarco, con un rapporto paritario del 50% tra i due sessi (639 femmine e 629 maschi su 1268). L'unica eccezione alla tendenza generale è rappresentata dalla laguna di Marinetta, che mostra una prevalenza di individui femminili, pari al 52% (240 su 460).

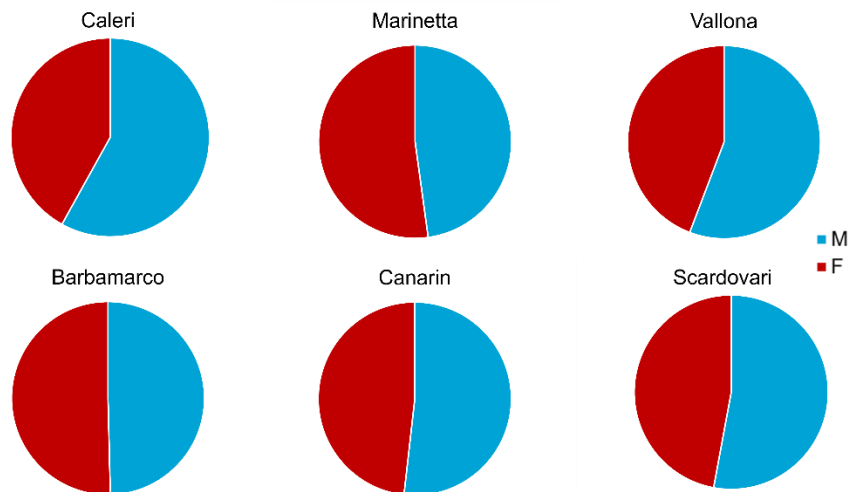


Figura 32. Composizione percentuale delle popolazioni campionate nelle diverse lagune, suddivisa tra maschi (M) e femmine (F) e senza distinzione tra i periodi di campionamento. Le lagune che si discostano maggiormente dall'andamento generale sono Caleri e Vallona, caratterizzate da una sex ratio più sbilanciata a favore dei maschi, e Marinetta, l'unica in cui prevale il sesso femminile.

Per quanto riguarda lo stadio di maturità, in tutti i siti le popolazioni locali mostrano un andamento analogo a quello complessivo, evidenziando una netta prevalenza degli individui appartenenti alla classe adulta (Figura 33). Questa dinamica è accentuata al massimo nella laguna di Marinetta, dove solo il 4% del campione (17 individui su 460 totali) è costituito da esemplari giovani. Al contrario, il sito dove la fascia giovanile è maggiormente rappresentata, pur restando minoritaria, è la laguna di Canarin con il 36% (478 su 1311). Nelle altre lagune, i rapporti si avvicinano sensibilmente a quello osservato sulla totalità del campione: Caleri con il 23% di individui giovani (118 su 520), Vallona con il 19% (96 su 518), Barbamarco con il 22% (280 su 1268) e Scardovari con il 28% (412 su 1476).

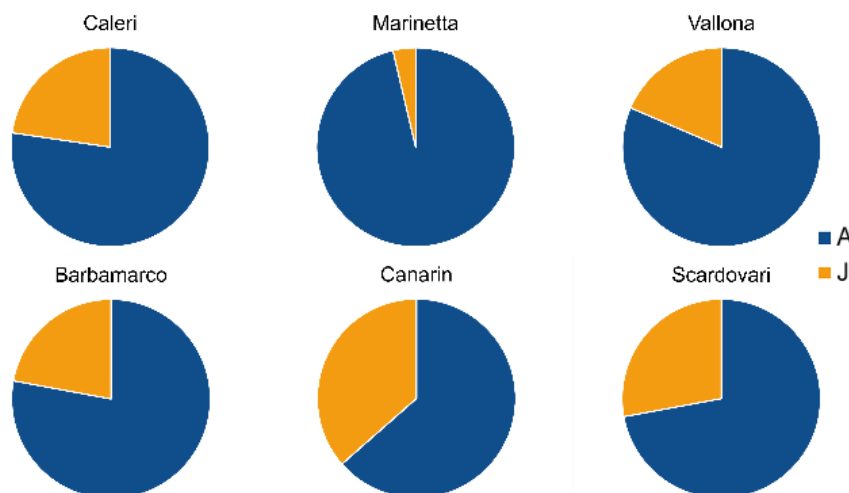


Figura 33. Composizione percentuale delle popolazioni campionate nelle diverse lagune, suddivisa tra adulti (A) e giovani (J) e senza distinzione tra i periodi di campionamento. In tutte le lagune gli individui adulti (A) prevalgono nettamente su quelli giovani (J), confermando l'andamento generale.

4.5 CPUE degli strumenti da pesca

La Figura 34 rappresenta graficamente i valori di CPUE calcolati per nasse e cogolli, mostrando in maniera evidente come i valori relativi al primo strumento di pesca siano mediamente superiori a quelli del secondo. Le nasse registrano una cattura media di 0.86 ± 0.64 kg di granchio per singolo strumento, a fronte di un valore pari a 0.46 ± 0.65 kg di granchio per ciascun cogollo. Risulta pertanto validata la maggiore efficienza delle nasse come dispositivi di cattura rispetto ai cogolli. Sulla base di questa evidenza, nelle analisi successive sono stati considerati esclusivamente i dati relativi agli esemplari catturati tramite nasse.

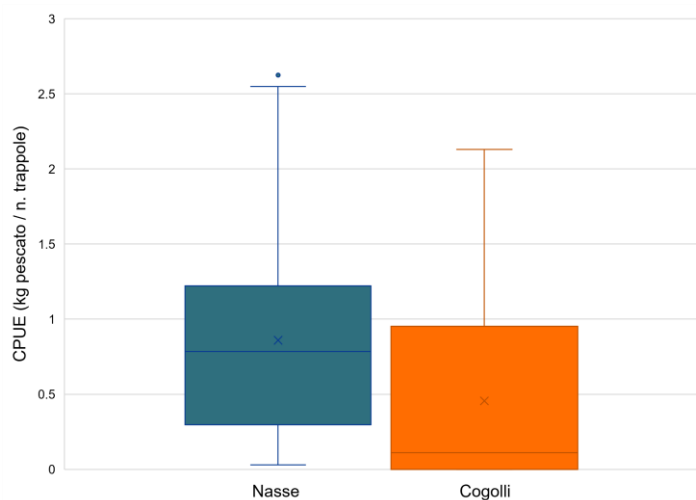


Figura 341. Distribuzione dei valori CPUE (Catch Per Unit Effort) calcolati per nasse e cogolli. I diversi colori identificano nasse e cogolli; ciascun box mostra la mediana (linea interna), la media (croce interna), l'intervallo interquartile (il box) e i valori anomali (punti), mentre i baffi indicano i valori di minimo e massimo esclusi gli outlier. I valori ottenuti per le nasse sono risultati mediamente superiori a quelli dei cogolli.

4.6 Confronto della struttura demografica tra i periodi di campionamento

A questo punto, sono state condotte specifiche analisi volte a valutare eventuali variazioni nella struttura della popolazione – in termini di *sex ratio* e stadi di maturità – nelle sei lagune nei due distinti periodi di campionamento (fine inverno e inizio estate).

Per quanto riguarda il Delta Nord, dalla Figura 35 si osserva nella popolazione una prevalenza di esemplari femminili durante il periodo di fine inverno (febbraio – marzo), corrispondente alla prima fase di campionamento. La laguna di Vallona è l'unica del settore a registrare una percentuale maschile (58%, 115 individui su 200 totali) superiore a quella femminile. Al contrario, nel periodo di inizio estate (maggio-giugno) relativo al secondo campionamento, emerge la netta prevalenza degli individui maschili in tutte e tre le lagune. Per la laguna di Vallona il

cambiamento è meno marcato, con una percentuale maschile che da 58% nel primo periodo aumenta a 76% (227 su 300) nel secondo. La dinamica risulta invece molto più evidente nelle altre due lagune del settore, dove si assiste ad una vera e propria inversione della *sex ratio*, con quota maschile che sale da 46% (86 su 189) a 71% (212 su 300) a Caleri, e da 27% (50 su 185) a 71% (214 su 300) a Marinetta. Pertanto, in tutti e tre i siti, la frazione femminile nel periodo di inizio estate è minore del 30%.

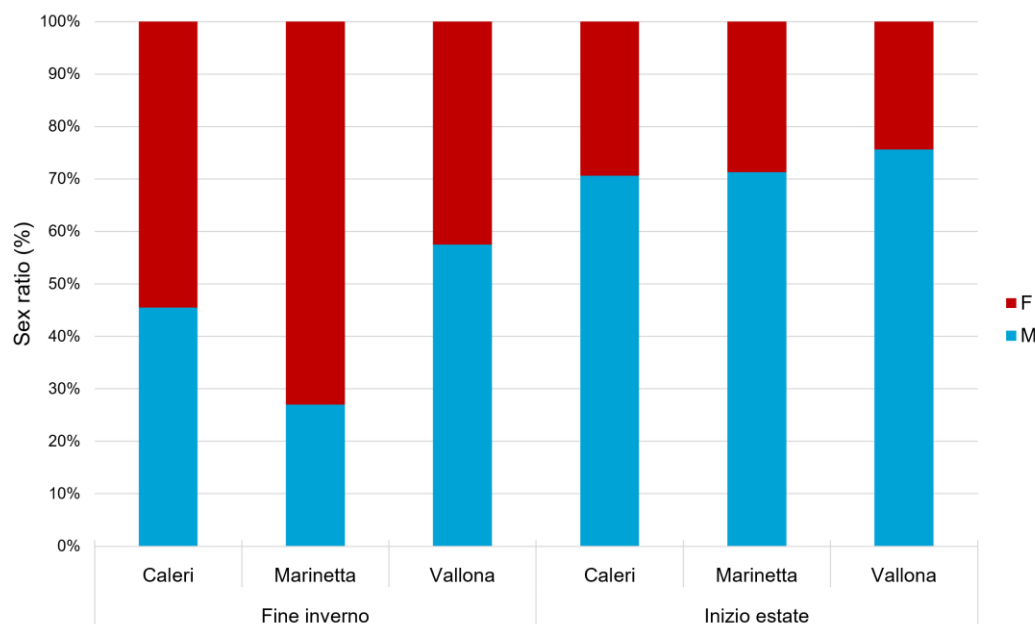


Figura 35. Composizione percentuale degli individui campionati in ciascuna laguna del Delta Nord, suddivisi tra maschi (M) e femmine (F) e distinti tra i due periodi di campionamento: fine inverno e inizio estate. Si osserva come la *sex ratio*, nettamente a favore delle femmine nel primo periodo, si inverte nel secondo.

Considerando nuovamente il Delta Nord ma con riferimento agli stadi di maturità, emerge in maniera evidente (Figura 36) come, in tutte le lagune dell'area, gli individui adulti rappresentino la componente prevalente della popolazione in entrambi i periodi dell'anno. Questo andamento è estremamente visibile nella laguna di Marinetta, dove a fine inverno la percentuale degli adulti è pari al 99% e rimane pressoché invariata, con un valore del 98%, ad inizio estate. Negli altri due siti la percentuale di adulti, pur non essendo così alta, è comunque prevalente e sia a Caleri, con una variazione da 79% a 89%, che a Vallona, con una variazione da 72% a 91%, si registra un aumento evidente nel passaggio da fine inverno ad inizio estate.

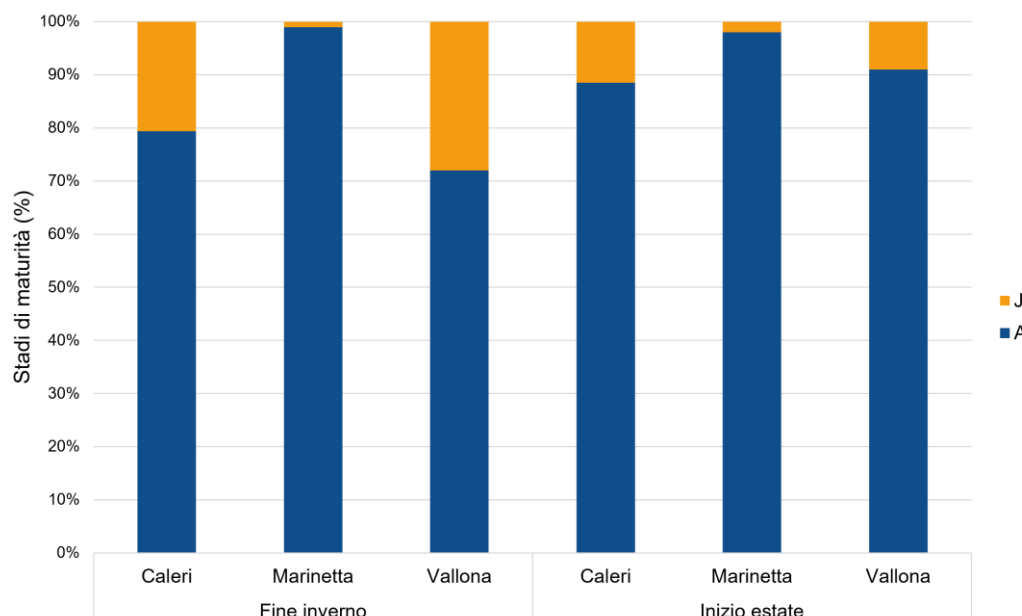


Figura 36. Composizione percentuale degli individui campionati in ciascuna laguna del Delta Nord, suddivisi tra adulti (A) e giovani (J) e distinti tra i due periodi di campionamento: fine inverno e inizio estate. La fascia adulta risulta marcatamente prevalente in entrambi i periodi dell'anno.

Le analisi condotte tramite test del chi-quadrato (Tabella 1) hanno confermato la significatività delle differenze mostrate dai grafici.

Caleri – Il test del chi-quadrato mostra una differenza significativa tra il periodo di fine inverno e quello di inizio estate sia per quanto riguarda la *sex ratio* ($\chi^2 = 23.95$; $p = 9.86 \times 10^{-7}$), sia per gli stadi di maturità della popolazione ($\chi^2 = 6.17$; $p = 0.013$).

Marinetta – Il test evidenzia una differenza significativa nella *sex ratio* della popolazione tra fine inverno ed inizio estate, con un valore di p nettamente inferiore alla soglia di significatività. Per quanto riguarda invece la proporzione tra individui giovani e adulti, non viene rilevata alcuna differenza significativa tra i due periodi. La popolazione risulta quindi simile, in termini di stadi di maturità, tra i due distinti periodi dell'anno, confermando quanto osservato dal grafico.

Vallona – Non viene rilevata differenza significativa in merito alla *sex ratio* tra i due periodi di campionamento, indicando una struttura demografica stabile, in termini di maschi e femmine, tra fine inverno e inizio estate. Al contrario, il test evidenzia, tra questi periodi, una differenza significativa nella popolazione per quanto riguarda le classi di età.

Tabella 1. Valori di χ^2 e p-value relativi al confronto della composizione per sesso (M/F) e classe di età (J/A) tra i due periodi di campionamento, nelle lagune del Delta Nord. Gli asterischi (*) contrassegnano i valori di $p < 0.05$, corrispondenti a differenze statisticamente significative.

Località	Parametro	X ²	p
Caleri	M/F	23.95	9.86 x 10 ⁻⁰⁷ *
	J/A	6.17	0.0130*
Marinetta	M/F	41.15	1.41 x 10 ⁻¹⁰ *
	J/A	0.53	0.47
Vallona	M/F	3.84	0.0500
	J/A	23.94	9.92 x 10 ⁻⁰⁷ *

Proseguendo con le analisi nel Delta Sud, la Figura 37 mostra come, anche in quest'area, tutti e tre i siti lagunari registrano un'inversione della *sex ratio* nel passaggio da fine inverno a inizio estate, ricalcando l'andamento osservato nel Settore Nord. Nel primo periodo è infatti evidente una netta prevalenza femminile, con percentuali pari al 62% (360 individui su 582 totali) per Barbamarco, al 60% (364 su 611) per Canarin e al 69% (388 su 563) per Scardovari. A questo scenario segue, nel secondo periodo, una prevalenza invece nettamente maschile, con valori del 65% (387 su 600) a Barbamarco, del 63% (378 su 600) a Canarin e del 65% (391 su 600) a Scardovari. Si può osservare inoltre che nei mesi di maggio-giugno, la proporzione di maschi e femmine risulta omogenea in tutte e tre le lagune, con percentuale femminile inferiore al 30%, esattamente come osservato per il settore settentrionale.

Il grafico in Figura 38 mostra una netta prevalenza degli individui adulti su quelli giovani in entrambi i periodi dell'anno per tutti e tre i siti del settore meridionale che quindi, anche per quanto riguarda gli stadi di maturità, ricalca lo stesso andamento di quello settentrionale. La differenza più significativa si ha per la laguna di Canarin, che, nel passaggio tra i due periodi, registra una diminuzione nella percentuale degli adulti: da 73% (447 individui su 611 totali) di fine inverno a 59% (355 su 600) di inizio estate. Nelle altre due lagune il cambiamento è meno accentuato: a Barbamarco si registra una diminuzione della quota adulta che da 80% (466 su 582) nel primo periodo scende a 76% (455 su 600) nel secondo. Scardovari è l'unico sito dei tre a registrare invece un aumento degli adulti nel cambio di stagione, senza però variazioni significative sulla proporzione complessiva degli stadi di maturità: la percentuale di adulti sale da 78% (441 su 563) nel primo periodo a 81% (485 su 600) nel secondo. Il confronto tra la Figura 19 e la Figura 21 evidenzia come, in entrambi i settori, la popolazione sia sempre composta prevalentemente da esemplari adulti, anche se questo andamento risulta più evidente nell'area del Delta Nord.

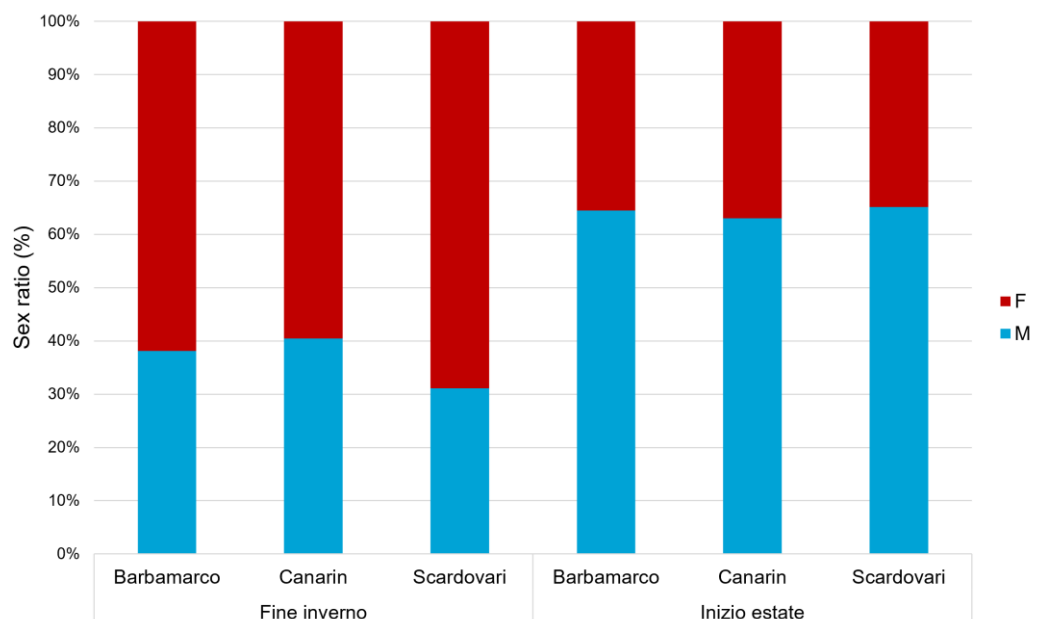


Figura 37. Composizione percentuale degli individui campionati in ciascuna laguna del Delta Sud, suddivisi per sesso e distinti tra i due periodi di campionamento: fine inverno e inizio estate. Si osserva come la sex ratio, nettamente a favore delle femmine nel primo periodo, si inverte nel secondo.

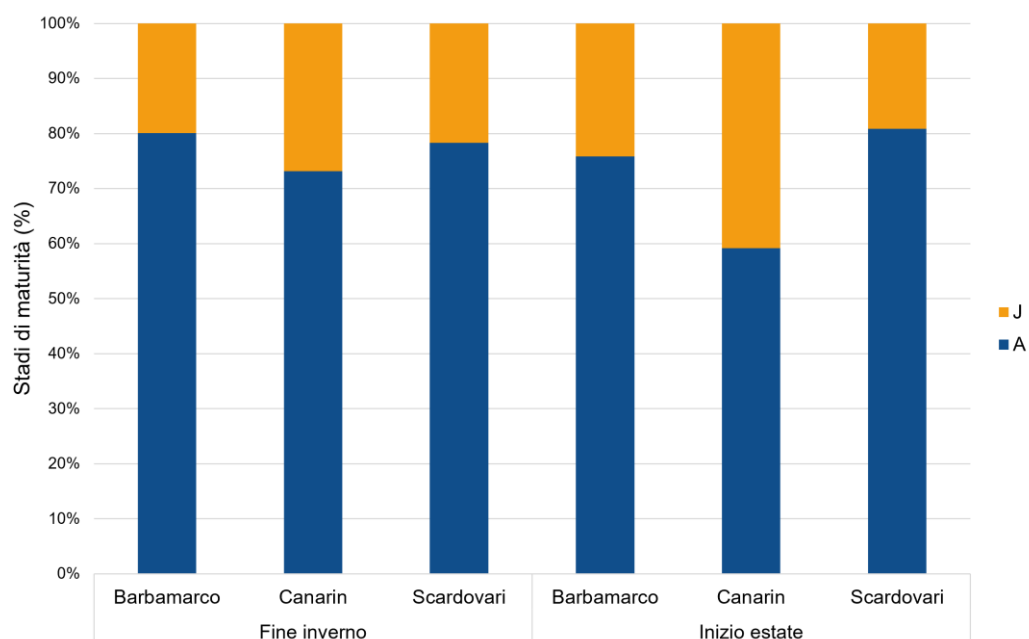


Figura 38. Composizione percentuale degli individui campionati in ciascuna laguna del Delta Sud, suddivisi per classi di età e distinti tra i due periodi di campionamento: fine inverno e inizio estate. La fascia adulta risulta marcatamente prevalente in entrambi i periodi dell'anno.

Anche in questo caso, i dati grafici sono stati confermati dal test statistico del chi-quadrato, che ha evidenziato le variazioni significative nella struttura della popolazione delle lagune del Settore Sud tra i due periodi dell'anno (Tabella 2).

Barbamarco – La differenza nella struttura della popolazione tra i due periodi è significativa per quanto riguarda la *sex ratio*, ma non per la proporzione di giovani e adulti.

Canarin – La variazione tra i due periodi è significativa sia per quanto riguarda la *sex ratio*, sia per quanto riguarda gli stadi di maturità della popolazione.

Scardovari – La *sex ratio* varia in modo significativo nel passaggio da fine inverno ad inizio estate. Al contrario, non c'è alcuna differenza significativa nel rapporto tra stadi tra i due periodi. La distribuzione degli stadi di età risulta quindi stabile nel tempo.

Tabella 2. Valori di χ^2 e *p*-value relativi al confronto della composizione per sesso (M/F) e classe di età (J/A) tra i due periodi di campionamento, nelle lagune del Delta Sud. Gli asterischi (*) contrassegnano i valori di $p < 0.05$.

Località	Parametro	χ^2	p
Barbamarco	M/F	82.77	9.22×10^{-20} *
	J/A	3.08	0.08
Canarin	M/F	61.77	3.86×10^{-15} *
	J/A	26.50	2.64×10^{-07} *
Scardovari	M/F	135.06	3.20×10^{-31} *
	J/A	1.12	0.29

5. DISCUSSIONE

I gradienti di salinità e temperatura sono quelli che più influenzano il metabolismo e il ciclo vitale di *C. sapidus* (Marchessaux et al., 2023); pertanto, l'analisi di questi parametri all'interno dell'area del Delta del Po nei diversi periodi di campionamento risulta importante ai fini dello studio della distribuzione spaziotemporale del granchio, in quanto fornisce un'idea del contesto ambientale entro cui questa specie si distribuisce.

Per quanto riguarda la temperatura, in tutte le lagune, nel passaggio da primo a secondo periodo di campionamento, è stato registrato un aumento del valore medio. In particolare, dal confronto tra i diversi siti, è emerso che nelle lagune del Delta Nord sono stati rilevati, in entrambi i periodi, valori medi superiori rispetto a quelli del Delta Sud. Anche in relazione alla salinità, tutte le lagune del Delta hanno registrato un aumento da primo a secondo periodo. Tuttavia, considerando i valori medi stagionali, non sono emerse differenze tra i settori settentrionale e meridionale.

Caleri è caratterizzata da uno scarso afflusso di acque dolci, costituito per lo più da acque d'irrigazione utilizzate nei terreni della zona (Miotto, 2021). Tale ridotto apporto di acque dolci potrebbe spiegare gli elevati valori medi di salinità osservati in quest'area, dove a inizio estate è stata registrata la media più elevata tra tutte le lagune del Delta.

A Marinetta e Vallona sono state registrate tendenze analoghe sia di temperatura sia di salinità. Tale fenomeno può essere spiegato dal fatto che le due lagune costituiscono in realtà la suddivisione di uno stesso bacino, che è alimentato dalle acque dolci del Po di Levante e separato nelle due aree dalla rispettiva foce (Balasso, 2010). In entrambe è stata registrata una temperatura mediamente elevata rispetto ai siti meridionali; tale misurazione potrebbe essere spiegata dal fatto che quest'area è caratterizzata da frequenti apporti di sedimento che arrivano dal mare e si depositano e accumulano sul fondo (Miotto, 2021). È probabile che tali fenomeni favoriscano periodicamente l'innalzarsi del fondale e, in questo modo, il riscaldamento della laguna che risulta meno profonda. La conformazione geografica di quest'area, inoltre, sembra spiegarne efficacemente anche i valori medi di salinità, i più bassi registrati tra tutte le lagune del Delta in entrambi i periodi dell'anno. Il ramo del Po di Levante, infatti, sfociando direttamente nel bacino lagunare, assicura un continuo apporto di acque dolci all'area, che ne abbassano la salinità. Tale fenomeno è ulteriormente enfatizzato nei periodi di

elevata piovosità, che contribuisce ulteriormente ad abbassare la media stagionale di salinità (Miotto, 2021).

Nel Delta Sud, gli elevati valori medi di salinità osservati nella laguna di Scardovari possono essere invece spiegati in virtù del fatto che tale laguna, essendo quasi priva di barene e canneti, si presenta come una porzione di mare chiuso (Miotto, 2021). I valori medi di salinità rilevati a Canarin invece, confrontati con quelli delle altre lagune, si inseriscono nella fascia di mezzo. Questo potrebbe essere dovuto alle escursioni di marea che caratterizzano quest'area rendendola il sistema più complesso del Delta del Po (Balasso, 2010; Miotto, 2021), con valori di salinità più variabili.

Le dinamiche dei fattori ambientali sono state messe in relazione con i dati ottenuti dai campionamenti di *C. sapidus* nelle lagune del Delta del Po, sapendo che i diversi stadi del ciclo vitale del granchio blu sono influenzati da differenti gradienti di temperatura e salinità (Della Ceca et al., 2026).

Per quanto riguarda i parametri biometrici, relativi alle misure (larghezza totale – CW –, larghezza interna – CS –, e lunghezza – CL –) del carapace e al peso corporeo (W) degli esemplari, il loro confronto tra le diverse lagune ha permesso di determinare la superiorità dimensionale degli individui del Delta Nord rispetto a quelli del Delta Sud. Per quanto riguarda i parametri ambientali di questi settori, è emerso che, in entrambi i periodi dell'anno, la temperatura media nel Delta Nord è superiore a quella rilevata nel Delta Sud. Al contrario, la salinità presenta valori medi più elevati nel settore meridionale rispetto a quello settentrionale.

Si può quindi supporre che tali gradienti dei parametri ambientali favoriscano la crescita di *C. sapidus*. In effetti, è stato dimostrato che i granchi blu, nonostante siano una specie euriterma ed eurialina in grado di adattarsi ad ampie variazioni di temperatura e salinità, presentano un range preferenziale per ciascuno di questi fattori, in cui la loro crescita è favorita. In particolare, per quanto riguarda la temperatura, il valore ottimale, che favorisce il più efficiente metabolismo dell'animale, è pari a 24 °C (Marchessaux et al., 2022), mentre il valore critico inferiore, sotto il quale la crescita del granchio crolla vertiginosamente, è pari a 12°C (Marchessaux et al., 2023). Per quanto riguarda la salinità invece, il valore corrispondente all'optimum si attesta sui 18.5 PSU (Marchessaux et al., 2024). Tali valori confermano che il Delta Nord presenta range stagionali di temperatura e salinità più allineati a quelli ottimali della specie, e pertanto in quest'area la crescita di *C.sapidus* è maggiormente favorita.

In particolare, Marinetta è il luogo dove tutti e quattro i parametri biotici sono risultati in media maggiori rispetto a quelli misurati nelle altre lagune. In altre parole, nella laguna di Marinetta sono stati mediamente catturati individui più pesanti e dalle dimensioni maggiori. Andando a controllare i parametri ambientali di tale laguna nei due periodi e confrontandoli con quelli degli altri siti, emerge che in quest'area i valori di temperatura sono mediamente alti (da 11.69 ± 1.81 °C alla fine dell'inverno a 23.61 ± 3.42 °C all'inizio dell'estate) e quelli di salinità invece inferiori alla media complessiva del Delta (da 13.56 ± 3.49 PSU a 22.40 ± 2.97 PSU). In particolare, tali valori si avvicinano molto ai valori optimum di crescita della specie, e sono quindi in linea con la maggiore crescita degli individui che caratterizza quest'area. In aggiunta, dall'analisi dei grafici a torta relativi agli stadi di maturità degli individui presenti in questa zona, emerge come proprio quest'ultima presenti la più elevata percentuale di individui adulti, che rappresentano la quasi totalità della popolazione in entrambi i periodi considerati. Questo è in linea con la dinamica di crescita del granchio blu, per cui dimensioni maggiori corrispondono ad età più avanzate, in quanto specie a crescita continua (Clayton, 1990).

Le analisi di correlazione tra i vari parametri biotici hanno permesso di capire come il granchio si sviluppi secondo una crescita isometrica per quanto riguarda la sua morfologia (larghezza-lunghezza del carapace), mentre secondo un modello di crescita allometrica per il rapporto grandezza-peso. Analizzare queste dinamiche è importante perché il ritmo di crescita dell'animale ne determina le mute e, di conseguenza, influenza il raggiungimento della maturità sessuale (Jivoff et al., 2007). Pertanto, tali dinamiche di crescita influiscono sui tempi di accoppiamento e riproduzione degli individui (Jivoff et al., 2007).

Prima di procedere con le considerazioni sull'analisi della struttura di popolazione, è opportuno precisare che, per tali analisi, sono stati considerati soltanto i dati relativi ai granchi catturati tramite nasse. Tale scelta si è basata su un'analisi dell'efficacia dei dispositivi di cattura eseguita tramite calcolo della CPUE (*Catch Per Unit Effort*) per entrambi gli strumenti. Il calcolo ha mostrato numericamente la maggiore efficacia delle nasse rispetto ai cogolli. Ciò potrebbe essere riconducibile alla maggiore selettività delle nasse nei confronti dei granchi. Durante le attività di campionamento è stato infatti osservato che i cogolli consentivano la cattura anche di altre specie ittiche (per esempio cefali, anguille, branzini), la cui presenza potrebbe aver interferito con la cattura mirata dei granchi. In effetti, la nassa è stata indicata come lo strumento più efficace per gli interventi volti al

contenimento di *C. sapidus*, in quanto risulta più selettiva nei confronti di questa specie, oltre che economica da mantenere e poco complessa nel suo utilizzo (Glamuzina et al., 2021).

Considerando quindi gli esemplari catturati tramite nassa, l'analisi della popolazione a livello generale, senza distinzione tra periodo e luogo di campionamento, ha evidenziato una *sex ratio* sostanzialmente bilanciata, mentre un rapporto tra stadi di maturità nettamente a favore degli adulti.

In merito alla *sex ratio*, tranne che a Vallona, in tutte le altre lagune sono emerse differenze significative tra i due diversi periodi dell'anno, evidenziando un netto aumento della percentuale maschile dalla fine dell'inverno all'inizio dell'estate.

L'accoppiamento di *C. sapidus* avviene in zone a bassa salinità e i maschi, successivamente alla copula, rimangono in tali ambienti. Al contrario, le femmine poi migrano in mare, verso zone ad alta salinità, per il rilascio delle uova (Marchessaux et al., 2023). Pertanto, l'aumento percentuale degli individui maschili osservato nelle lagune tra fine inverno e inizio estate, potrebbe essere dovuto a questo aspetto del ciclo vitale. Ciò potrebbe indicare che, nei mesi di febbraio e marzo, le femmine adulte risultano particolarmente abbondanti nelle aree lagunari, in concomitanza con il periodo riproduttivo e in preparazione all'accoppiamento con i maschi, che avviene in acque a bassa salinità (Marchessaux et al., 2023). Nel periodo successivo, caratterizzato da una diminuzione della presenza delle femmine nelle aree lagunari, potrebbe verificarsi la migrazione di queste, in seguito all'accoppiamento, verso acque a salinità maggiore, al fine di completare la maturazione delle uova e per procedere poi con il loro rilascio in mare (Marchessaux et al., 2023). L'elevata percentuale di individui di sesso maschile osservata potrebbe quindi confermare la loro permanenza nelle lagune anche nella fase successiva all'accoppiamento (Marchessaux et al., 2023).

A differenza di tutte le altre lagune, a Vallona non è stata registrata una variazione significativa della *sex ratio* tra le due stagioni. Sulla base dei dati raccolti, non è stato possibile fare deduzioni sulle ragioni di questo fenomeno, e pertanto è necessario approfondire gli studi a riguardo.

Per quanto riguarda le classi di età invece, tutte le lagune hanno confermato l'andamento generale, mostrando una netta prevalenza di individui adulti in entrambi i periodi dell'anno.

A Caleri, Vallona e Canarin sono comunque emerse variazioni significative tra i due periodi, in particolare Caleri e Vallona hanno registrato una riduzione notevole della fascia giovanile nel passaggio dalla fine dell'inverno all'inizio dell'estate. Tale fenomeno potrebbe essere dovuto al fatto che la gran parte di individui giovanili osservati in tali aree a fine inverno, sono poi cresciuti risultando, già all'inizio dell'estate, maturi. In effetti, tale dinamica sarebbe in linea con quanto osservato inizialmente: nelle lagune del Nord i parametri ambientali, con valori medi di temperatura e salinità che si avvicinano a quelli ottimali per la specie, favoriscono la crescita dei granchi, che pertanto potrebbe essere avvenuta più rapidamente in questi siti, portando alla più veloce maturazione degli individui giovani. Un'ulteriore spiegazione potrebbe essere lo spostamento degli individui giovani. Gli esemplari giovanili di granchio blu, infatti, occupano un'ampia varietà di luoghi, dove si alimentano con nutrimenti diversi fino a raggiungere la maturità sessuale (Hines, 2007). Infine, è importante tenere conto del fatto che nelle presenti analisi sono stati considerati soltanto i dati relativi ai granchi catturati tramite nasse. Quelle utilizzate nei campionamenti erano costituite da una maglia di 25 mm; pertanto, non potevano risultare selettive per gli individui di granchio più giovani, con larghezza del carapace inferiore ai 2 cm. Tale circostanza, impedendo la cattura dei primi stadi giovanili, potrebbe avere falsato i dati osservati, alterando la proporzione di stadi di maturità.

Considerando quindi il campione globale, senza distinzioni tra lagune e periodi di campionamento, è emersa la netta prevalenza di individui adulti, mentre la *sex ratio* è risultata sostanzialmente bilanciata tra i due sessi, con una leggera prevalenza degli individui maschili. È stato però messo in evidenza che, mentre la prevalenza dello stadio adulto è stata confermata in tutte le lagune in entrambi i periodi, la *sex ratio* ha invece registrato delle significative variazioni stagionali, con inversione di tendenza tra la fine dell'inverno e l'inizio dell'estate.

6. CONCLUSIONI

Nel complesso, lo studio sui fattori ambientali nelle lagune del Delta del Po ha messo in evidenza come quest'area sia una regione geografica estremamente dinamica, in cui le lagune sono caratterizzate da diversi gradienti di temperatura e salinità. È quindi probabile che risulti un buon sito d'insediamento per *C. sapidus*, specie eurialina ed euriterma che in fasi diverse del ciclo vitale necessita di condizioni ambientali differenti (Gil-Fernández et al., 2024; Williams, 1974).

Da questo studio è emerso che gli individui più grandi si trovano nelle lagune del Delta Nord, probabilmente in virtù del fatto che gli intervalli di fattori abiotici caratterizzanti quest'area sono più allineati ai valori ottimali per la specie. Sarebbe interessante condurre un'analisi riguardo al numero degli individui catturati nelle diverse lagune, per verificare se tali valori di temperatura e salinità favoriscono anche una maggiore abbondanza della specie nella zona.

La nassa si è dimostrata uno strumento migliore, rispetto al cogollo, per la cattura dei granchi blu, confermando la sua efficacia e migliore resa già osservata anche nei luoghi nativi (Glamuzina et al., 2021).

Per quanto riguarda la struttura demografica delle popolazioni nelle singole lagune, la fascia adulta è risultata più numerosa, con variazioni significative nella *sex ratio* tra fine inverno e inizio estate. È risaputo che l'accoppiamento tra individui maturi di granchio blu avviene in acque a bassa salinità e, in seguito, mentre i maschi rimangono in tali luoghi, le femmine migrano al mare per rilasciare le uova (Marchessaux et al., 2023). Le femmine, pertanto, si trovano in laguna solo dopo essere appena maturate, e quindi nel periodo dell'accoppiamento, o quando tornano dal mare (Marchessaux et al., 2023). Considerando le dinamiche osservate nelle lagune del Delta alla luce di ciò, possiamo supporre che tali zone rappresentino dei siti di accoppiamento e foraggiamento degli individui adulti. Tuttavia, non possiamo escludere la presenza di individui particolarmente giovani che, avendo dimensioni nettamente ridotte (Marchessaux et al., 2023), non risultano catturabili dalle nasse.

Pertanto, per ampliare le conoscenze riguardo all'intero ciclo vitale di *C. sapidus* nel Delta del Po, sarebbe utile implementare la ricerca utilizzando sistemi che consentano la cattura di eventuali stadi giovanili. Questo permetterebbe di capire se queste aree rappresentano dei siti frequentati soltanto o principalmente dagli adulti, o se invece sono popolate anche dagli stadi più giovanili.

Inoltre, sarebbe opportuno approfondire i risultati ottenuti nel presente lavoro operando una suddivisione temporale più precisa e su scala annuale, in modo da individuare precisamente i tempi di accoppiamento della specie in quest'area. La conoscenza di tale aspetto consentirebbe di pianificare e favorire interventi di pesca della specie appena prima di questo periodo, in modo da contrastare la riproduzione per contribuire al contenimento della specie.

In parallelo a questi lavori, sarebbe da approfondire lo studio dei parametri ambientali, temperatura e salinità in particolare. Tale studio, affiancando i risultati ottenuti dagli esemplari di *C. sapidus*, fornirebbe il quadro ambientale entro cui si registrano le dinamiche di popolazione in quest'area. Tale conoscenza sarebbe utile per ampliare le conoscenze riguardo alle dinamiche spazio-temporali di *C.sapidus* al di fuori delle sue aree native, poiché la maggior parte delle ricerche svolte sui granchi è relativa al loro sito di origine (Marchessaux et al., 2023), ma le fasi del loro ciclo vitale cambiano con la latitudine e a seconda delle aree geografiche (Hines, 2007).

7. BIBLIOGRAFIA

- Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto [ARPAV]. (2004). *A proposito di acque di transizione*. ARPAV, Osservatorio Acque di Transizione. arpa.veneto.it
- Balasso, E. (2010) *Biodiversità e stato ecologico di sei lagune nel Delta del Po (Veneto, Italia), nel contesto della Water Framework Directive (WFD 2000/60/EC)*. Tesi di dottorato. Università degli Studi di Ferrara.
- Baldwin, J., & Johnsen, S. (2012). The male blue crab, *Callinectes sapidus*, uses both chromatic and achromatic cues during mate choice. *Journal of Experimental Biology*, 215(7), 1184–1191. <https://doi.org/10.1242/jeb.067512>
- Basurto, X. et al. (2025). Illuminating the multidimensional contributions of small-scale fisheries. *Nature*, 637(8047), 875–884. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08448-z>
- Bir, J. et al. (2022). Review on Invasive Alien Species (IAS): Challenge and Consequence to the Aquatic Ecosystem Services. *Marine Science and Technology Bulletin*, 11(3), 288–298. <https://doi.org/10.33714/masteb.1091625>
- Blackburn, T. M. et al. (2014). A Unified Classification of Alien Species Based on the Magnitude of their Environmental Impacts. *PLoS Biology*, 12(5), e1001850. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001850>
- Butchart, S. H. M. et al. (2010). Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines. *Science*, 328(5982), 1164–1168. <https://doi.org/10.1126/science.1187512>
- Capinha, C. et al. (2015). The dispersal of alien species redefines biogeography in the Anthropocene. *Science*, 348(6240), 1248–1251. <https://doi.org/10.1126/science.aaa8913>
- Checchin, C. (2025). Analisi della distribuzione di popolazione e taglia della specie aliena *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 nelle Lagune Venete. Elaborato di laurea triennale. Università degli Studi di Padova.
- Clayton, D. A. (1990). Crustacean Allometric Growth: A Case for Caution. *Crustaceana*, 58(3), 270–290. <https://doi.org/10.1163/156854090X00183>
- Cochran, D. M. (1935). *The skeletal musculature of the blue crab, Callinectes sapidus Rathbun* (Smithsonian Miscellaneous Collections, Vol. 92, No. 9, pp. 1–76). [Smithsonian Institution](https://www.si.edu/publications/Smithsonian%20Institution).
- Corbau, C. et al. (2019). Coupling land use evolution and subsidence in the Po Delta, Italy: Revising the past occurrence and prospecting the future

- management challenges. *Science of The Total Environment*, 654, 1196–1208. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.104>
- De Pascalis, F. et al. (2025). The DANUBIUS-RI supersite of Po delta and North Adriatic Lagoons: A living lab on transitional environments in the Adriatic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 324, 109453. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2025.109453>
- Della Ceca, E. et al. (2026). From Invasive to Innovative: A Review of Socio-Economic and Ecological Pathways for the Sustainable Management of the Blue Crab (*Callinectes sapidus*) and Its Recorded Sightings in the Mediterranean. *Sci*, 8(2), 48. <https://doi.org/10.3390/sci8020048>
- Early, R. et al. (2016). Global threats from invasive alien species in the twenty-first century and national response capacities. *Nature Communications*, 7(1), 12485. <https://doi.org/10.1038/ncomms12485>
- Ferrarin, C. et al. (2017). The effect of lagoons on Adriatic Sea tidal dynamics. *Ocean Modelling*, 119, 57–71. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2017.09.009>
- Ferretti, M. (1983). Inventario degli attrezzi da pesca usati nelle marinerie italiane. Ministero della Marina Mercantile - Direzione Generale della Pesca.
- Ferretti, M. et al. (2002). Classificazione e descrizione degli attrezzi da pesca in uso nelle marinerie italiane con particolare riferimento al loro impatto ambientale. ICRAM (Quaderni dell'Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica e Tecnologica Applicata al Mare).
- Ferretti, M. (2011). Sistemi di pesca e tecnologia. In S. Cataudella & M. Spagnolo (A cura di), *Lo stato della pesca e dell'acquacoltura nei mari italiani* (pp. 259-277). Roma: Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali.
- Frascaroli, F. et al. (2021). Linking contemporary river restoration to economics, technology, politics, and society: Perspectives from a historical case study of the Po River Basin, Italy. *Ambio*, 50(2), 492–504. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01363-3>
- García-Díaz, P. et al. (2021). Management Policies for Invasive Alien Species: Addressing the Impacts Rather than the Species. *BioScience*, 71(2), 174–185. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa139>
- Gavioli, A. et al. (2025). Impacts of the invasive blue crab *Callinectes sapidus* on small-scale fisheries in a Mediterranean lagoon using fishery landing data. *Science of The Total Environment*, 974, 179236. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179236>

- Gil-Fernández, A. et al. (2024). Early life stages of the invasive Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* in the Western Mediterranean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 296, 108593. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108593>
- Glamuzina, L. et al. (2021). A Comparison of Traditional and Locally Novel Fishing Gear for the Exploitation of the Invasive Atlantic Blue Crab in the Eastern Adriatic Sea. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(9), 1019. <https://doi.org/10.3390/jmse9091019>
- Hay, W. P. (1905). The blue crab. In *Report of the Commissioner of Fisheries for the Fiscal Year 1904 and Special Papers* (Bureau of Fisheries Document No. 581, pp. 395–424). Government Printing Office.
- Honsa, K. J. (2001). *Fine structure of the swimming paddle opener muscle and its innervation in the blue crab, Callinectes sapidus* [Tesi di Master, University of Toronto]. TRLN Open Access Journals.
- Hines, A. H. (2007). Ecology of juvenile and adult blue crabs. In V. S. Kennedy & L. E. Cronin (Eds.), *The Blue Crab: Callinectes sapidus* (pp. 565–611). Maryland Sea Grant College.
- Hulme, P. E. et al. (2008). Grasping at the routes of biological invasions: A framework for integrating pathways into policy. *Journal of Applied Ecology*, 45(2), 403–414. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01442.x>
- Jivoff, P. et al. (2007). Reproduction biology and embryonic development. In V. S. Kennedy, R. I. E. Newell, & A. H. Hines (A cura di), *The blue crab: Callinectes sapidus* (pp. 255–298). Maryland Sea Grant College.
- Katsanevakis, S. et al. (2023). Marine invasive alien species in Europe: 9 years after the IAS Regulation. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1271755. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1271755>
- Kevrekidis, K. et al. (2024). Reproductive Biology of the Invasive Blue Crab *Callinectes sapidus* in the Thermaikos Gulf (Northwest Aegean Sea, Eastern Mediterranean): Identifying Key Information for an Effective Population Management Policy. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(11), 1923. <https://doi.org/10.3390/jmse12111923>
- Mancinelli, G. et al. (2024). Abundance, Size Structure, and Growth of the Invasive Blue Crab *Callinectes sapidus* in the Lesina Lagoon, Southern Adriatic Sea. *Biology*, 13(12), 1051. <https://doi.org/10.3390/biology13121051>
- Manfrin, C. et al. (2016). The return of the Blue Crab, *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896, after 70 years from its first appearance in the Gulf of Trieste, northern

- Adriatic Sea, Italy (Decapoda: Portunidae). *Check List*, 12(6), 2006.
<https://doi.org/10.15560/12.6.2006>
- Manfrin, C. et al. (2015). First occurrence of *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) within the Sacca di Goro (Italy) and surroundings. *Check List*, 11(3), 1640.
<https://doi.org/10.15560/11.3.1640>
- Marchessaux, G. et al. (2024). Salinity tolerance of the invasive blue crab *Callinectes sapidus*: From global to local, a new tool for implementing management strategy. *Science of The Total Environment*, 954, 176291.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176291>
- Marchessaux, G. et al. (2022). The invasive blue crab *Callinectes sapidus* thermal response: Predicting metabolic suitability maps under future warming Mediterranean scenarios. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1055404.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1055404>
- Marchessaux, G. et al. (2023). Environmental drivers of size-based population structure, sexual maturity and fecundity: A study of the invasive blue crab *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) in the Mediterranean Sea. *PLOS ONE*, 18(8), e0289611. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289611>
- Marchessaux, G. et al. (2023). Invasive blue crabs and small-scale fisheries in the Mediterranean sea: Local ecological knowledge, impacts and future management. *Marine Policy*, 148, 105461.
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105461>
- Marchessaux, G. et al. (2024). Using species population structure to assist in management and decision-making in the fight against invasive species: The case of the Atlantic blue crab *Callinectes sapidus*. *Global Ecology and Conservation*, 54, e03168. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03168>
- Meyerson, L. A., & Mooney, H. A. (2007). Invasive alien species in an era of globalization. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(4), 199–208.
[https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5%5B199:IASIAE%5D2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5%5B199:IASIAE%5D2.0.CO;2)
- Millikin, M. R. et al. (1984). Synopsis of biological data on the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. (NOAA Technical Report NMFS 1 / FAO Fisheries Synopsis No. 138). National Oceanic and Atmospheric Administration
- Miotto, I. (2021). Analisi funzionale del popolamento ittico ripario degli ambienti lagunari del Delta del Po. Tesi di Laurea Magistrale. Università Ca' Foscari Venezia.

- Mormul, R. P. et al. (2022). Invasive alien species records are exponentially rising across the Earth. *Biological Invasions*, 24(10), 3249–3261. <https://doi.org/10.1007/s10530-022-02843-1>
- Munari, C. et al. (2010). La valutazione ecologica delle lagune del Delta del Po: prospettive e sfide per il futuro. In P. Viaroli, F. Puma, & I. Ferrari (A cura di), *Atti XVIII congresso S.It.E., Parma 1-3 settembre 2008, sessione speciale “Aggiornamento delle conoscenze sul bacino idrografico Padano”*. *Biologia Ambientale*, 24(1), 187–196
- Pyšek, P. et al. (2010). Contrasting patterns in the invasions of European terrestrial and freshwater habitats by alien plants, insects and vertebrates. *Global Ecology and Biogeography*, 19(3), 317–331. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00514.x>
- Rathbun, M. J. (1930). *The Cancroid crabs of America of the families Euryalidae, Portunidae, Atelecyclidae, Cancridae and Xanthidae* (United States National Museum Bulletin 152). United States Government Printing Office.
- Richardson, D. M. et al. (2010). A Compendium of Essential Concepts and Terminology in Invasion Ecology. In D. M. Richardson (A c. Di), *Fifty Years of Invasion Ecology* (1^a ed., pp. 409–420). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781444329988.ch30>
- Seebens, H. et al. (2021). Projecting the continental accumulation of alien species through to 2050. *Global Change Biology*, 27(5), 970–982. <https://doi.org/10.1111/gcb.15333>
- Seebens, H. et al. (2017). No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications*, 8(1), 14435. <https://doi.org/10.1038/ncomms14435>
- Sfriso, A. et al. (2019). Long-term changes of the trophic status in transitional ecosystems of the northern Adriatic Sea, key parameters and future expectations: The lagoon of Venice as a study case. *Nature Conservation*, 34, 193–215. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.34.30473>
- Simberloff, D. et al. (2013). Impacts of biological invasions: What’s what and the way forward. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(1), 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.013>
- Simeoni, U., & Corbau, C. (2009). A review of the Delta Po evolution (Italy) related to climatic changes and human impacts. *Geomorphology*, 107(1–2), 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.11.004>

- Streftaris, N., & Zenetos, A. (2006). Alien Marine Species in the Mediterranean—The 100 ‘Worst Invasives’ and their Impact. *Mediterranean Marine Science*, 7(1), 87. <https://doi.org/10.12681/mms.180>
- Tamburini, E. (2024). The Blue Treasure: Comprehensive Biorefinery of Blue Crab (*Callinectes sapidus*). *Foods*, 13(13), 2018. <https://doi.org/10.3390/foods13132018>
- Tiralongo, F., Gattelli, R., Pasquale, D., Rossetti, E., Felici, A., & Mulder, C. (2025). *THE DEVASTING ECONOMIC IMPACT OF CALLINECTES SAPIDUS ON THE CLAM FISHING IN THE PO DELTA (ITALY): STRIKING EVIDENCE FROM NOVEL FIELD DATA*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.07095>
- Trapasso, R. (2025). Distribution and fecundity of the blue crab, *Callinectes sapidus*, in three lagoons of the Po River delta [Elaborato di laurea, Università degli Studi di Padova].
- Turolla, E. (2008). L'allevamento della vongola verace nel Delta del Po. Istituto Delta Ecologia Applicata; Grafiche Adriatica.
- Williams, Austin B. (1974). "The Swimming Crabs of the Genus *Callinectes* (Decapoda: Portunidae). In *Fishery Bulletin* 72, 3.

8. SITOGRAFIA

ARPAV: <https://www.arpa.veneto.it/granchio-blu/focus>

FAO:

<https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/ARTFIMED/ArtFiWeb/descript/Gear/geartype/gt226.htm>

IUCN: <https://iucn-medmis.org/en/species/callinectes-sapidus>

SVSN: <https://www.svsu.it/segnalazioni-preliminari-su-presenza-e-distribuzione-del-granchio-blu-americano-callinectes-sapidus-rathbun-1896-nellarea-del-delta-del-po-veneto/>